

**Universidad Andina Simón Bolívar  
Sede Ecuador**

**Área de Gestión**

**Programa de Maestría en Dirección de Empresas**

**Desarrollo del Sistema de Planificación de la  
Producción para una Empresa fabricante de  
Productos Semiterminados de Acero**

**Ing. Wilson Torres**

**2.004**

Al presentar esta tesis como uno de los requisitos previos para la obtención del grado de Magíster de la Universidad Andina Simón Bolívar, autorizo al centro de información o a la biblioteca de la universidad para que haga de esta tesis un documento disponible para su lectura según las normas de la universidad.

Estoy de acuerdo en que se realice cualquier copia de esta tesis dentro de las regulaciones de la universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica potencial.

Sin perjuicio de ejercer mi derecho de autor, autorizo a la Universidad Andina Simón Bolívar la publicación de esta tesis, o de parte de ella, por una sola vez dentro de los treinta meses después de su aprobación.

Ing. Wilson Ramiro Torres Berni

30 de septiembre de 2004.

**Universidad Andina Simón Bolívar  
Sede Ecuador**

**Área de Gestión**

**Programa de Maestría en Dirección de Empresas**

**Desarrollo del Sistema de Planificación de la  
Producción para una Empresa fabricante de  
Productos Semiterminados de Acero**

**Ing. Patricio Garcés**

**Ing. Wilson Torres**

**Quito**

**2.004**

### **Resumen (Abstract)**

El presente estudio trata de dar una solución en la planificación de la producción para una Planta industrial que fabrica productos semiterminados de acero, tanto para mantener stock como para productos bajo pedido.

En esta línea se genera un modelo de planificación que obedezca a las necesidades de fabricar productos para clientes en tiempos de entrega reales y ciertos en su cumplimiento. Además mediante el levantamiento de la capacidad individual por máquina y la determinación del cuello de botella en cada línea de producción se discute la forma en la cual se pueda mejorar el estado actual de la mencionada Planta, y el ordenamiento de producción en cuanto a las prioridades comerciales y operacionales.

Para esto se disponen los contenidos que en breves palabras se los puede mencionar como sigue: análisis actual del funcionamiento de la Planta, una base teórica respecto a la Teoría de las Restricciones el cual es el fundamento que más se adapta a la descripción de la realidad y a su mejoramiento, la descripción del modelo en cuanto a su funcionamiento, y algunas conclusiones y recomendaciones que aportarían a futuro, al mejor desempeño en la gestión de la producción de la Planta en cuestión.

Es importante mencionar que al haber realizado el estudio para una Planta con los dos tipos de productos (stock y bajo pedido), el modelo es extrapolable hacia otras Plantas que tengan ya sea el un tipo de producto o el otro, claro esta que las soluciones a la mejor gestión dependerá del caso que se esté analizando.

DEDICATORIA:

Para mis amores eternos:

Edith, Isaac y Benjamín

AGRADECIMIENTO:

Al amigo que me supo orientar  
en los conocimientos justos  
para el desarrollo de este tema

Patricio Garcés.

## Índice

Introducción, 9

CAPITULO I: Generalidades de la Planta industrial a analizar, 12

Antecedentes, 12

Tecnologías utilizadas en la producción, 15

Procesos de fabricación para cada producto, 18

Políticas de inventarios en producto final, 18

CAPITULO II: Base teórica para la planificación de la producción, 20

Introducción, 20

Antecedentes históricos, 21

Fundamentos de la Teoría de las restricciones, 23

Paso 1 - IDENTIFICAR las restricciones de la empresa, 27

Paso 2- Decidir cómo EXPLOTAR las restricciones de la empresa, 30

Paso 3 - SUBORDINAR todo lo demás a la decisión anterior, 32

Paso 4 - ELEVAR las restricciones de la empresa, 34

Paso 5 - Volver al Paso 1, 35

Fluctuaciones estadísticas y eventos dependientes, 36

Tambor, amortiguador y cuerda, 40

Administración del amortiguador, 45

Indicadores clave en la gestión con TOC, 47

Modelos de filas de espera, 48

Análisis de simulación, 53

Tipologías de organización de la producción, 55

CAPITULO III: Modelo de Planificación de la Producción, 58

Levantamiento de datos,	58
Explicaciones varias sobre la información recopilada,	60
Definición del modelo de planificación,	63
Análisis de la información recopilada en los productos tipo PS,	63
Análisis de la información recopilada en los productos tipo PP,	65
Proceso de Coordinación de los pedidos,	66
Funcionamiento del modelo a partir de una hoja electrónica,	67
CAPITULO IV: Conclusiones y Recomendaciones,	71
Conclusiones,	71
Recomendaciones,	73
Bibliografía,	74
Anexos,	75



## **Introducción.-**

El problema del presente estudio se lo puede definir con la siguiente pregunta central: ¿Cuál es la forma en que se debe planificar la producción en una empresa fabricante de productos de acero para mantener un stock, y cumplir pedidos especiales?

Para poder responder a esta pregunta se ha planteado anteriormente en el plan de tesis: conocer los factores que intervienen en la producción y de esta manera poder inferir sobre ellos de la forma indicada para poder planificarlos. Primeramente se tienen los materiales, los cuales deberán ser suficientes para iniciar el proceso; por lo tanto, en función de la información que tenga levantada la compañía, respecto a la demanda de productos especiales y de producción para stock, se establecerá la cantidad necesaria de materiales que se debe disponer en un período de tiempo determinado. En otras palabras se relacionará el presupuesto de ventas con el plan maestro de compra de materia prima.

Otro factor influyente en la planeación de la producción, son las máquinas y herramientas, en donde se debe establecer la capacidad de las mismas, en función de la medición del tiempo de proceso de una unidad. En vista de que la tecnología actualmente utilizada no es totalmente automatizada, este factor se ve afectado por la mano de obra directamente, y por sus cualidades en cuanto a cantidad y experiencia.

Como último factor aquí considerado, se tiene el aspecto estratégico tanto del área operativa como del área comercial, es decir cuáles son los niveles de inventario (para los productos que se debe mantener stock) con los cuales se

debe iniciar el proceso de producción de tal forma que se complemente el inventario de reserva establecido. Además, se encuentran las prioridades y tiempos de entrega que se establecen en la organización para la fabricación de productos requeridos por los clientes. Todo esto es información que se requiere levantar en la Planta con la ayuda de la Jefatura de Producción.

Para la programación de la producción es importante definir los cuellos de botella en cada uno de los tipos de productos que la empresa fabrica, de tal forma que se tenga el punto exacto en el cual hay que concentrar esfuerzos para alcanzar una nivel de producción óptimo para tiempos de entrega del producto.

Gran parte de la información requerida para este estudio se encuentra en la Planta, en el caso de que no se disponga de ella será en este mismo sitio en donde se deberá medirla. Adicionalmente se tiene la facilidad de que la empresa a analizar, posee un sistema informático que integra las áreas de: finanzas, producción, ventas y despachos; de donde se podrá extraer mucha información tabulada a lo largo del tiempo. La revisión bibliográfica es otro puntal de gran importancia para el desarrollo de este trabajo por lo que dentro de la bibliografía se detalla dicha fuente.

Este estudio entonces se encarga de definir una herramienta en la cual se pueda analizar si los tiempos de entrega son o no los ciertos y apropiados para poder cumplir compromisos los compromisos adquiridos con el cliente. Se da por descontado que existen datos que no requieren demostración, tales como demandas promedio, políticas de producción y comercialización respecto a inventario de producto terminado, período de tiempo al cual se define como

sostenible económicamente la producción (relacionado con el concepto de capacidad efectiva).

Al final del estudio se plantean medidas de mejoramiento las cuales para su evaluación requerirán ser cuantificadas, pero que ya no constituyen parte de este.

El contenido a breves rasgos ya fueron descritos en el resumen de esta tesis, y se los puede visualizar ordenadamente en el índice.

## **CAPITULO I: Generalidades de la Planta industrial a analizar.**

En este capítulo se va a tener una visión muy global de la Planta que se va a analizar y de las características relevantes de la organización a la que pertenece. Esto aportará para poder evaluar la mejor solución viable, en cuanto a gestión de la producción.

### **Antecedentes.-**

La fábrica que se ha designado como fuente de información para poder desarrollar el presente estudio, pertenece a una compañía con más de veinte años desempeñándose en la industria del acero.

Dicha compañía no solo fabrica productos semiterminados de acero sino que también los comercializa, mediante un área de ventas apropiadamente distribuida a nivel nacional.

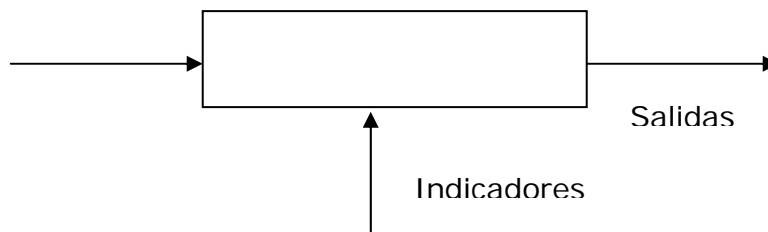
Dentro de los productos que maneja, se pueden definir dos grandes grupos diferenciados básicamente por su capacidad de respuesta frente a las necesidades de los clientes, de esta manera se tienen: productos en los cuales se mantiene un stock<sup>1</sup>, y productos que requieren de una orden expresa de producción para iniciar todo el proceso de fabricación.

Un hecho sobresaliente es que la compañía está certificada con la Norma ISO 9001-2000, esto significa que sigue todos sus procedimientos de manera paralela y conforme con la mencionada norma. Más adelante se podrá apreciar

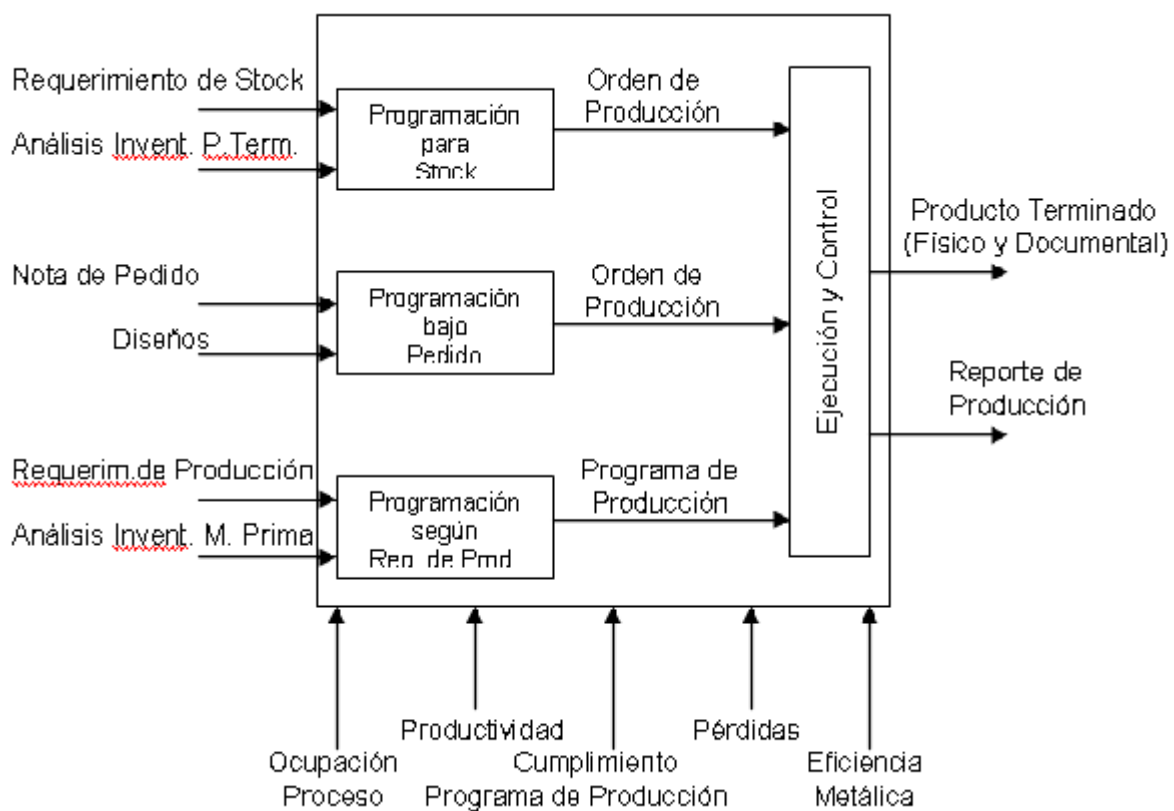
---

<sup>1</sup> Cantidad de inventario de producto final que mantiene la organización de tal forma de satisfacer la necesidad de dicho producto de manera inmediata.

los procedimientos relacionados con el estudio actual y cuyo esquema sigue el modelo siguiente:



Procedimiento Control de la Producción y Prestación del Servicio:

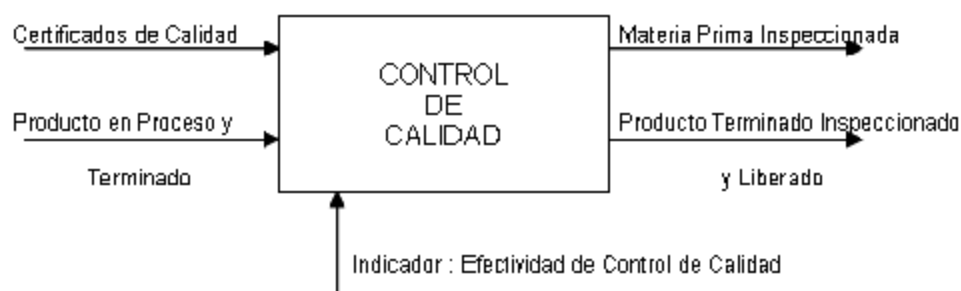


En este procedimiento se puede ver que existen varios tipos de entradas dependiendo del tipo de producto que se maneje. Si bien es cierto que en este gráfico se pueden notar tres tipos de productos, para efectos prácticos de producción, el primero y el tercero apuntan a tener un stock determinado, y el

segundo que es totalmente correspondiente con los productos que se los fabrica bajo pedido.

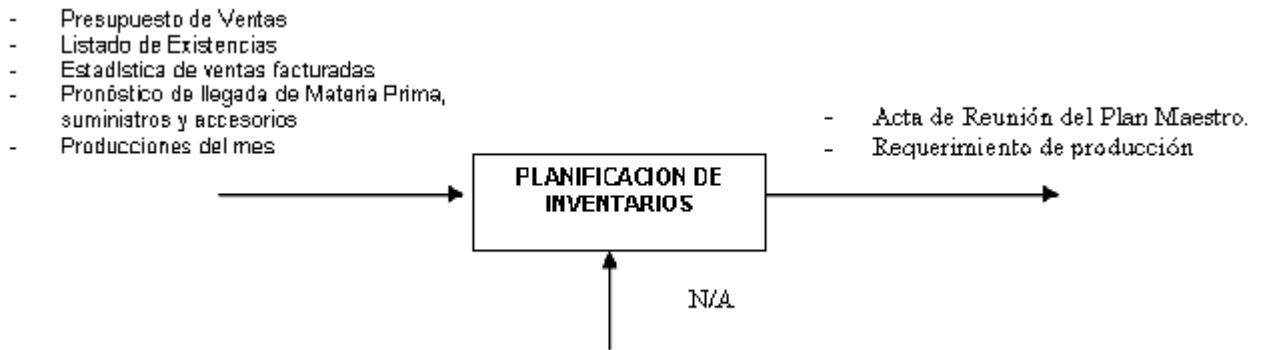
El indicador de productividad es el que va a aportar mucho para la definición de las capacidades de las máquinas. Las salidas son muy explícitas y no requieren mayor explicación.

Procedimiento Control de Calidad:



En este procedimiento se puede notar que están juntas las inspecciones tanto de materia prima como de producto en proceso y terminado, lo más relevante para el caso en cuestión es el producto en proceso, ya que se va a constituir en una herramienta de mejoramiento el revisar el producto antes de llegar a una máquina cuya capacidad está cerca del límite.

Procedimiento Planificación de los Inventarios:



De la misma forma, en esta parte se maneja un solo procedimiento tanto para materia prima como para producto de stock. Este procedimiento deja en claro lo que ya se mencionó anteriormente, en cuanto a que los dos tipos de productos separados en el primer procedimiento revisado, pertenecen a una misma categoría ya que la entrada de listado de existencias es un dato en cuanto a stock, y el presupuesto de ventas el correspondiente para requerimiento de producción.

En vista de que la presente compañía va a manejar datos confidenciales en este estudio, tanto los productos como las máquinas serán descritos de manera codificada. Esta codificación se la manejará más adelante en la explicación de los procesos de fabricación.

### **Tecnologías utilizadas en la producción.-**

Se define primeramente tecnología como: “el conocimiento práctico, los objetos físicos y los procedimientos que se usan para generar productos y servicios”<sup>2</sup>. Dentro de una organización se puede dividir en tres áreas

---

<sup>2</sup> Lee Krajewski y Larry Ritzman *Administración de operaciones*, Mexico, Pearson Education, 2000, p. 127.

fundamentales a la tecnología, las cuales son: tecnología de producto, tecnología de proceso y tecnología de información.

La tecnología de producto es todo el fundamento en el cual se basa el desarrollo de nuevos productos y servicios que ofrece la compañía a los clientes. Esto significa que se relaciona mucho con áreas de Marketing, Investigación & Desarrollo, y Ventas. La relación con Producción no es la predominante, se da a nivel de prefactibilidad pero nada más.

La tecnología de información, es la forma en la cual la organización recaba datos y los procesa de tal manera que sirvan de base para la toma de decisiones, además se relaciona mucho con las comunicaciones que representan el nexo entre las áreas de atención a los clientes y Producción. Esta parte de la tecnología se relaciona mucho con el estudio a realizar ya que es un componente importante en el proceso de fabricación.

En la Planta, objeto del análisis, se tiene por sistema de información un programa en el cual se enlazan todas las áreas de la empresa. De esta manera: Ventas, Financiero, Contabilidad, Recursos Humanos y Producción comparten datos que se traslapan en la gestión global de la compañía.

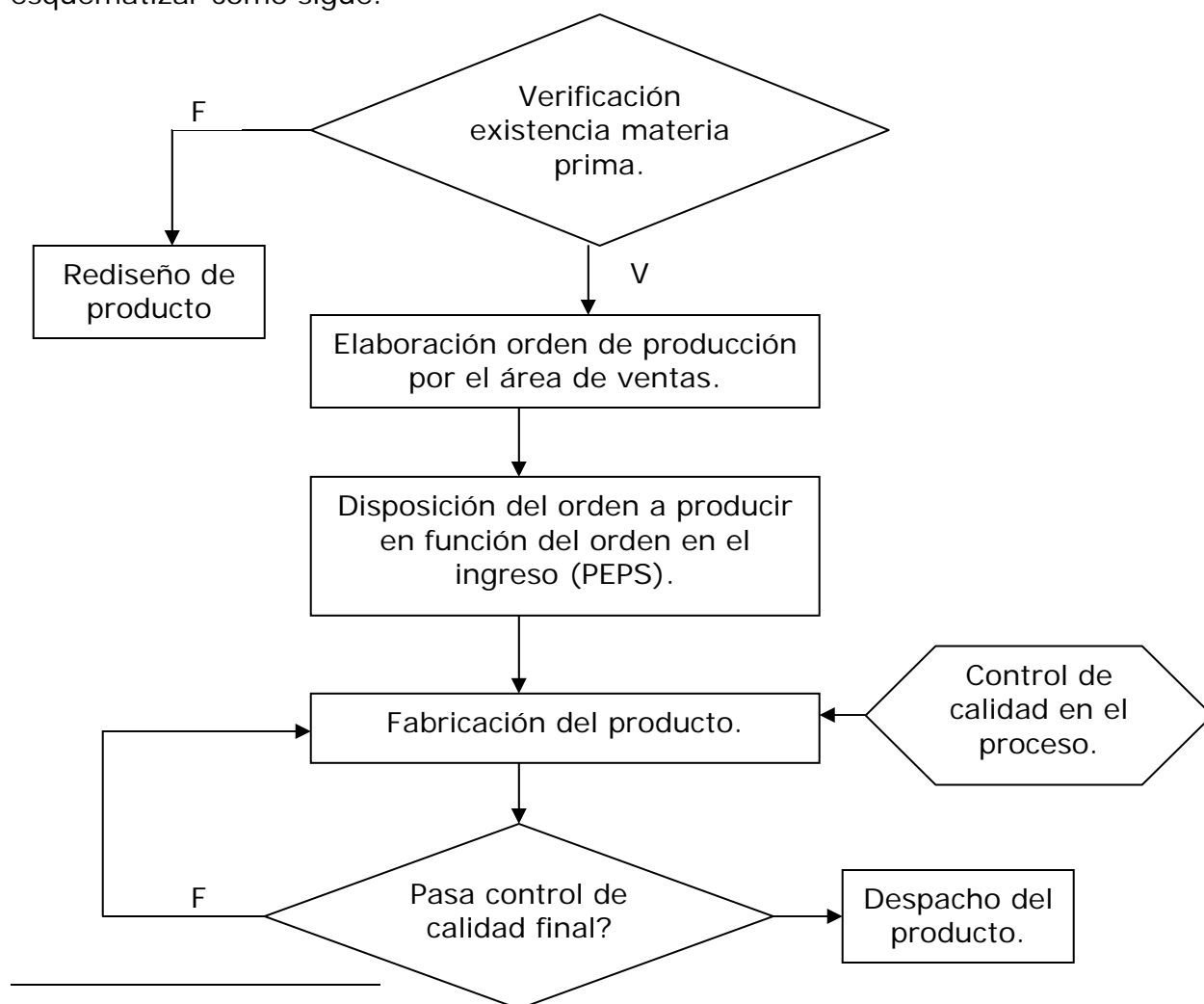
La relación que guardan, en el sistema, el área de Ventas con el de Producción, es la que va a marcar ciertas características propias en cuanto al grado de tecnología de información utilizada por la organización. Ya que es sobre la base del sistema mencionado que se va a dar la comunicación respectiva para la fabricación de los diferentes productos a fabricarse.



La tecnología de proceso, quizás es la más importante en todo el estudio que se va a realizar, ya que trata sobre los métodos que se usan en el sistema de producción para la fabricación del producto.

Se puede decir que la totalidad de la producción es realizada por maquinaria para el efecto, que a su vez es apoyada por mano de obra calificada en ciertos casos más que en otros, debido a un diferente nivel de automatización.

El proceso básico para el ingreso de un pedido de producción hacia la Planta y su correspondiente fabricación (relacionado con la ley PEPS<sup>3</sup>), se lo puede esquematizar como sigue:



<sup>3</sup> PEPS Primeras Entradas, Primeras Salidas. Eliyahu Goldratt y Robert Fox, *El síndrome del pajar*, Mexico, Ediciones Castillo, 2002, p. 25.

Esta es la forma en la cual se dan las actividades para conseguir finalmente el producto terminado que se entregará posteriormente a los clientes.

### **Procesos de fabricación para cada producto.-**

En función de lo mencionado anteriormente, se define entonces los siguientes tipos de producto:

Productos para stock: PS01, PS02, PS03, PS04, PS05 y PS06.

Productos bajo pedido: PP01, PP02, PP03, ..... y PP15.

Estos, son procesados mediante máquinas que han sido codificadas de la siguiente manera: M01, M02, M03, ..... y M22.

La relación existente entre productos y máquinas se la puede visualizar mediante el diagrama de flujo unificado (Anexo 1), y además en el Anexo 2, en el cual se distribuyen gran parte de los datos numéricos, que sirven de base de cálculo para el funcionamiento del modelo.

### **Políticas de inventarios en producto final<sup>4</sup>.-**

Más adelante se podrá observar los niveles recomendados para los cuales se ha fijado los stocks de los inventarios de producto final. Estos valores se han definido en función de los históricos de ventas revisados anualmente por el área comercial, en los cuales se analiza la frecuencia de compra de un determinado item, y su volumen promedio.

---

<sup>4</sup> Se ha utilizado el término producto semiterminado para los productos fabricados por la Planta, esto se debe a que para el usuario final el producto requiere de cierto proceso de montaje o cualquier otra agregación de valor para su uso. Pero definirá como producto final al que sale despachado de la Planta, y consta para esta como producto terminado.

Con estos dos valores se establece la cantidad de inventario suficiente tal que satisfaga al cliente de la mejor manera en cuanto a tiempo de entrega (disponibilidad inmediata). En el momento en el que el nivel mínimo de stock ha sido alcanzado se genera una orden de producción que complete el nivel de stock recomendado.

## **CAPITULO II: Base teórica para la planificación de la producción.**

En este capítulo se expondrá la base teórica fundamental de la propuesta que se ha definido como la mejor para poder solucionar el problema de la planificación en la Planta en cuestión. Esto aportará a conocer los basamentos sobre los cuales actúa la teoría seleccionada.

### **Introducción.-**

Existen dos formas, las más conocidas, para poder definir un sistema de planificación de la producción: MRP II<sup>5</sup> y TOC<sup>6</sup>.

El primero (MRP II) cuya principal raíz es el tradicional MRP<sup>7</sup>, el cual se basa en una producción netamente de ensamblaje (en donde se relaciona bastante con el concepto de demanda dependiente<sup>8</sup>) y en donde el pronóstico de la demanda juega un papel muy importante para definir los planes de compra de materiales, no se adapta a la necesidad de un sistema lo suficientemente flexible como se lo requiere en una producción bajo pedido.

Por estas razones este sistema MRP, es más apreciable en situaciones en las cuales se tiene que fabricar producto para alimentar inventarios, en los cuales existe una demanda predefinida y muy bien estimada.

En cuanto a TOC, se podrá ver en la base teórica que se trata más adelante, que se trata de un sistema muy flexible que permite ingresar a planificar

---

<sup>5</sup> MRP II por las siglas en inglés Manufacturing Resource Planning, Planificación de recursos de manufactura.

<sup>6</sup> TOC por las siglas en inglés de Theory of Constraints, Teoría de las Restricciones.

<sup>7</sup> MRP por las siglas en inglés Material Requirements Planning. Planeación de Requerimiento de Materiales.

<sup>8</sup> Cantidad requerida de un producto función de la demanda de otro que también mantiene inventario. Lee Krajewski y Larry Ritzman *Administración de operaciones*, Mexico, Pearson Education, 2000, p. 675.

productos para stock o los provenientes de un pedido expreso. Es así como la teoría que servirá de base para todo el análisis a realizar, es la Teoría de las Restricciones debido a su flexibilidad y características muy propias para enfocar el problema de la gestión de producción.

Otro factor muy importante es que si bien es cierto MRP II también cita conceptos tales como capacidades, cuellos de botella, mejoramiento continuo, al igual que TOC, esta segunda mantiene a la par con estos conceptos, una filosofía de servicio al cliente, manejo racional y con sentido común de los inventarios, dosificación en el uso de la mano de obra cuando sea necesaria, etc. Es decir no solo es una herramienta sino todo un cúmulo de lineamientos básicos que aportan a la gestión en el área de operaciones (además de existir actualmente soluciones para el resto de áreas) en una compañía.

Esta Teoría de las Restricciones, si bien es cierto no solo es aplicable para el ambiente de operaciones, sino para la gran mayoría de áreas de una compañía, será en la producción que se centrará todos los esfuerzos y recomendaciones que da mencionada *filosofía* de gestión.

### **Antecedentes históricos.-**

Eliyahu Goldratt, doctor en Física, es uno de los personajes que más ha desarrollado el tema de Teoría de las Restricciones. Su historia (con respecto a este tema) empieza con una experiencia no tan positiva a principios de los '70, cuando un familiar le pidió que le ayudara a mejorar la producción de una pequeña empresa de pollos.

Goldratt, junto a su hermano, desarrolló un revolucionario algoritmo de programación de la producción que posibilitó incrementarla en más de un 40% sin necesidad de nuevos recursos. Lamentablemente el proceso de cobro fue más lento que la compra de materiales, y por tanto que su respectivo pago a proveedores; por lo que la empresa quebró.

A finales de los '70, los hermanos Goldratt fundaron Creative Output, empresa que desarrolló un software para la programación y control de la producción basado en el algoritmo ya mencionado. El crecimiento de esta empresa fue espectacular teniendo como cliente desde esa época a General Motors.

La experiencia demostró al Dr. Goldratt que su revolucionario método exigía mucho más que la implementación de un nuevo software. Exigía cambiar la mayor parte de las políticas y criterios de decisión que aún existen en las empresas. Es decir se requiere llegar a un cambio en la cultura organizacional.<sup>9</sup> Son varias las obras que Goldratt ha escrito relacionadas con este tema, entre las principales están: La Meta, La Carrera, Teoría de las Restricciones, Cadena Crítica, El Síndrome del Pajar, entre otras.

En 1987 Goldratt funda una nueva organización, el Avraham Y. Goldratt Institute (AGI), cuya misión es generar y diseminar conocimiento. En ese momento comenzó la investigación que permitió generalizar TOC a todas las áreas y niveles de una empresa (Operaciones, Distribución, Abastecimiento, Ventas, Marketing, Estrategia, Toma de Decisiones, Ingeniería, Gestión de Proyectos y Recursos Humanos). También se creó un conjunto de herramientas

---

<sup>9</sup> Goldratt Asociados. <http://www.goldratt.com.mx/mailings/boletin02.html>, *Teoría de Restricciones los negocios con sentido común – boletín Nro. 2*

para el análisis y resolución sistémicos de situaciones problemáticas (Los Procesos de Pensamiento).

Si bien es cierto términos como throughput, pensamiento sistémico, Teoría de Colas y Teoría Estadística de la Agregación, muy relacionados con Teoría de las Restricciones, ya se manejaban en los años 50, el mérito del Dr. Goldratt es haber encontrado una forma para que estas herramientas puedan ser usadas por cualquier persona (claro está que entienda la gestión de la organización) dentro de una empresa, con una alta probabilidad de conseguir excelentes resultados.

Y, aunque muchas personas que trabajaron con el Dr. Goldratt sostienen que es un genio, es difícil creer que sus brillantes colaboradores, hayan sido meros espectadores durante todo el tiempo transcurrido de investigación.<sup>10</sup>

### **Fundamentos de la Teoría de las restricciones.-**

Solemos partir de la suposición de que el máximo rendimiento del sistema se obtiene cuando todos sus recursos funcionan al máximo. Esto es lo que conocemos como Pensamiento Cartesiano, o Paradigma Cartesiano. Ésta era la visión del mundo predominante hasta mediados del siglo veinte.

El Pensamiento Sistémico, o Paradigma Sistémico, en cambio, sostiene que el máximo rendimiento de un sistema NO se consigue mediante el máximo rendimiento individual de cada uno de los recursos, sino que sólo unos pocos deberán funcionar al máximo para obtener el nivel óptimo del sistema.

---

<sup>10</sup> Goldratt Asociados. <http://www.goldratt.com.mx/mailings/boletin02.html>, *Teoría de Restricciones los negocios con sentido común – boletín Nro. 2*

La Teoría de las Restricciones es una metodología sistémica de gestión y mejora de una empresa. En pocas palabras, se basa en las siguientes ideas:

- La Meta de cualquier empresa con fines de lucro es ganar dinero de forma sostenida, esto es, satisfaciendo las necesidades de los clientes, empleados y accionistas. Si no gana una cantidad ilimitada es porque algo se lo está impidiendo: sus restricciones.
- Contrariamente a lo que parece, en toda empresa existen sólo unas pocas restricciones que le impiden ganar más dinero.
- Restricción no es sinónimo de recurso escaso. Es imposible tener una cantidad infinita de recursos. Las restricciones, lo que le impide a una organización alcanzar su más alto desempeño en relación a su Meta, son en general criterios de decisión erróneos.

La única manera de mejorar es identificar y eliminar restricciones de forma sistemática. TOC propone el siguiente proceso para gestionar una empresa y enfocar los esfuerzos de mejora:

Paso 1 - IDENTIFICAR las restricciones de la empresa.

Paso 2 - Decidir cómo EXPLOTAR las restricciones de la empresa.

Paso 3 - SUBORDINAR todo lo demás a la decisión anterior.

Paso 4 - ELEVAR las restricciones de la empresa.

Paso 5 - Volver al Paso 1.

Para entender un poco como responde el modelo del manejo de restricciones se podría tomar un fragmento extraído del libro La Meta, que narra un cuento cuyo extracto es:



*Se trata de una excursión realizada entre un grupo de chicos en donde uno de los padres de estos era quien desempeñaba el papel de guía. Se había planteado un tiempo en el cual deberían llegar a su destino, el mismo que era revisado conforme avanzaba el grupo, confrontándolo con la distancia registrada según un mapa.*

*Dentro del grupo había un niño un poco pasado de peso (su nombre para identificarlo mejor era Herbie) quien no podía seguir el paso del resto de integrantes. A medida que avanzaban se probaron varias posibilidades: que Herbie vaya al final para no retrasar a todo el grupo, que vaya al medio para que trate de seguir el paso de los que iban delante, o que vaya al inicio para que todos sigan su paso. Ninguna de estas alternativas funcionó, pues en las dos primeras la fila de excursionistas iba creciendo cada vez más (pues el espacio entre caminantes iba aumentando ya que su capacidad física no era igual para todos) y en la última si bien es cierto la fila no creció mucho pero se estaba retrasando al grupo de tal forma que no iba a ser posible cumplir el tiempo planificado para el arribo de la excursión.*

*Si el grupo podía marchar cohesionado, el siguiente objetivo era que Herbie pueda caminar un poco más rápido, y el guía procedió a analizar cómo lograr esto. Se dio cuenta de que Herbie llevaba una gran mochila cuyo peso no permitía que pueda desplazarse a una mayor velocidad, y entonces se decidió repartir la carga que él llevaba entre los que además de tener un buen ritmo, puedan cargar un adicional a sus mochilas. A partir de ese momento el grupo empezó a registrar tiempos muy*

*adecuados en su avance y al final pudieron alcanzar su objetivo a tiempo.* <sup>11</sup>

Esta historia ilustra de manera muy práctica el modelo de teoría de las Restricciones en la producción. Herbie es el integrante del grupo que tiene que *consumir un camino*, en otras palabras él es un componente de la producción que consume un inventario, cuya rapidez de trabajo (en la historia rapidez de caminata) es la más baja de toda la cadena de producción; y por lo tanto la misma en su totalidad no puede avanzar a una velocidad más alta que la de este recurso, de tal manera que por más que los otros centros de producción (en el ejemplo los amigos de Herbie) trabajen más rápido, el resultado va a ser siempre el mismo ya que el cuello de botella<sup>12</sup> siempre imprimirá el ritmo de trabajo. Esto guarda correspondencia con el ejemplo ya que por más que los otros chicos caminen más rápido, puede darse el caso de que todos menos Herbie lleguen al destino, pero el objetivo, como grupo, de llegar todos al sitio de arriba no se cumple.

Desglosando entonces detalladamente los pasos para gestionar la producción mediante TOC y analizando paralelamente con la historia narrada, se tiene:

---

<sup>11</sup> Eliyahu Goldratt y Jeff Cox, *La meta*, México, Ediciones Castillo, 2002, p.114.

<sup>12</sup> Operación que tiene la capacidad efectiva más baja entre todas las de la instalación, y que por lo tanto limita la salida de productos del sistema. Lee Krajewski y Larry Ritzman *Administración de operaciones*, México, Pearson Education, 2000, p. 304.

## **Paso 1 - IDENTIFICAR las restricciones de la empresa.-**

Cada organización, como ya se lo mencionó anteriormente, tiene uno o varios Herbies en su proceso productivo por lo tanto se los debe identificar para planificar qué hacer con estos cuando se tenga una orden de trabajo que los involucre.

Aclarando un poco más el concepto, existen básicamente dos tipos de restricciones:

Físicas: Escasez de materias primas, una máquina muy cargada, gente con una habilidad determinada, el mercado, etc. Sólo se puede decir que existen restricciones físicas cuando ya han sido eliminadas las restricciones de Gestión (también llamadas Políticas).

De Gestión (Políticas): Reglas o criterios de decisión formales o informales erróneas, no alineadas o en conflicto con la meta del sistema (ganar dinero de manera sostenida).<sup>13</sup>

Es importante definir muy bien el tipo de restricción que se tenga en el sistema de producción, ya que se puede creer que existe una restricción física cuando lo que realmente se trata es de una restricción de tipo político o de decisión. Para esto se tiene una herramienta que se llama el Árbol de Realidad Actual<sup>14</sup>, el cual es un esquema lógico que ayuda a describir una situación de la realidad usando conexiones causa – efecto. Se la usa para identificar el problema

---

<sup>13</sup> Goldratt Asociados. <http://www.goldratt.com.mx/mailings/boletin04.html>, *Teoría de Restricciones los negocios con sentido común – boletín Nro. 4*

<sup>14</sup> Goldratt Asociados. <http://www.goldratt.com.mx/mailings/boletin05.html>, *Teoría de Restricciones los negocios con sentido común – boletín Nro. 5*

básico y llegar a solucionarlo mediante algún tipo de acuerdo entre las partes.<sup>15</sup>

Para IDENTIFICAR las restricciones físicas de la empresa se debe analizar cuál sería la carga de trabajo sobre cada recurso, y qué cantidad de cada material se necesitará, si se fuera a producir todo lo que el mercado está dispuesto a comprar. Para ello se necesita conocer:

- Los compromisos contraídos con los clientes (tipos de productos, fechas de entrega y cantidades pactadas).
- Las necesidades de fabricación para reponer los stocks de producto terminado consumidos. Se supone que existen políticas propias de la organización en cuanto a niveles de stock.
- Los materiales e insumos necesarios para fabricar cada producto.
- Las rutas de fabricación posibles para cada producto, incluyendo tiempos de procesamiento y tiempos de puesta a punto de los recursos (seteo de máquinas).
- Las características de las máquinas (capacidad) y personal disponibles (habilidades y conocimientos).<sup>16</sup>

Con estos datos se puede calcular el tiempo que se necesita de cada recurso para satisfacer la demanda, el cual se debe comparar con la capacidad del mismo durante el horizonte de planificación.

---

<sup>15</sup> Goldratt's Marketing Group *TOC insights into operations*, New York, Chap. 2, documento digital.

<sup>16</sup> Goldratt Asociados. <http://www.goldratt.com.mx/mailings/boletin09.html>, *Teoría de Restricciones los negocios con sentido común – boletín Nro. 9*

Aquellos recursos cuya utilización sea mayor o igual al 100%, son cuellos de botella. Y el tener recursos de este tipo, significa que: no se podrá cumplir con los compromisos contraídos, a menos que se aumente la capacidad de estos cuellos de botella (horas extras, un nuevo turno, minimización de pérdidas de tiempo, etc.) o que por último se tenga que reprogramar la entrega del material para que no se incumplan plazos.

Aquellos recursos cuya utilización sea menor al 100%, pero mayor al 90% (este límite inferior depende de la protección que se quiera dar a la alínea de producción), se lo debe manejar con mucho cuidado ya que se trata de recursos con limitación de capacidad, cuya descripción se la nombrará como CCR<sup>17</sup> ya que al ser la demanda muy cercana a su capacidad, se pueden transformar en cuellos de botella si no son administrados adecuadamente.

Aquellos recursos cuya utilización sea menor que el 90% (de igual forma este valor depende de cada caso en particular), se consideran NO-RESTRICCIONES.<sup>18</sup>

Si bien es cierto el proceso mencionado anteriormente se lo puede visualizar como algo totalmente sistemático, puede llevar mucho tiempo el levantamiento de la información, por lo que se plantea algo alternativo y práctico, que es preguntar a la gente que sufre la existencia de la restricción. Pero aún en esta forma de búsqueda no siempre se va a lograr la verdad absoluta respecto al problema, pues la gente se va a encontrar presionada a

---

<sup>17</sup> Por las siglas en ingles de Capacity Constraint Resource – Recurso con restricción de capacidad. Eliyahu Goldratt y Robert Fox, *La carrera*, Mexico, Ediciones Catillo, 2002, p. 105.

<sup>18</sup> Goldratt Asociados. <http://www.goldratt.com.mx/mailings/boletin09.html>, *Teoría de Restricciones los negocios con sentido común – boletín Nro. 9*

dar una respuesta que obedecerá a su sistema de pensamiento cartesiano, o a eludir la responsabilidad de estar haciendo algo erróneo (que en ese momento lo ignora). Es muy probable que quien pueda dar una respuesta lo más acertada posible sea el despachador, pues se trata de la persona que está con todos las órdenes pendientes sin tomar en cuenta indicadores locales de desempeño. La pregunta sería definir a qué departamento es al que tiene que visitarlo frecuentemente para presionar que liberen productos en proceso.

En el caso de que el despachador o el staff de jefes identifique un determinado cuello de botella, se lo deberá tratar como tal. Mas si son variadas las opciones de los recursos que pueden ser cuellos de botella (no existe un consenso por el aparente movimiento que tiene la restricción en los recursos), lo más lógico sería tratar al mercado como la única restricción, de esta manera no deberían haber órdenes con fechas de entrega fallidas, y en el caso de que las haya, entonces, va a ser explícita la existencia del recurso que efectivamente es el cuello de botella.<sup>19</sup>

## **Paso 2 - Decidir cómo EXPLOTAR las restricciones de la empresa.-**

Continuando con la similitud del ejemplo planteado, lo que se hizo después fue aumentar la velocidad de caminata de Herbie, ayudándole con la carga que llevaba a sus espaldas; de la misma forma luego de que el cuello de botella está identificado en la línea de producción, se requiere estudiar la mejor

---

<sup>19</sup> Goldratt's Marketing Group *TOC insights into operations*, New York, Chap. 16, documento digital.

manera de incrementar la capacidad de este, para poder aumentar el nivel de eficacia de todo el grupo de operaciones involucradas con la restricción.

Existen varios consejos para poder explotar las restricciones de un proceso dentro de la producción; si por ejemplo se ha definido que una máquina es un cuello de botella se deberá:

- Asignar operadores más hábiles, personas que conozcan el manejo de la máquina.
- Tener control de calidad antes del ingreso a la restricción, ya que esto eliminará en lo posible el reproceso en esta operación. Una pieza con defecto al ser procesada se está invirtiendo recursos y tiempo en algo que en primera instancia ya viene con defectos.
- Disponer turnos de la gente de tal forma que no haya paras de trabajo en momentos como: el almuerzo, descansos a media tarde, etc.
- Definir los tamaños de los lotes de producción mínimos de manera que no se convierta a los recursos con capacidad cerca del límite en cuellos de botella.
- Planificar los tiempos de las operaciones que no son cuellos de botella y que son anteriores al que si lo es, de tal forma que el cuello de botella no se quede sin producto para procesar (buffers de tiempo<sup>20</sup>).
- Aplicar algoritmos de secuenciación que permitan minimizar la pérdida de tiempo en las restricciones (muy útiles cuando los tiempos de

---

<sup>20</sup> Goldratt Asociados. <http://www.goldratt.com.mx/mailings/boletin04.html>, *Teoría de Restricciones los negocios con sentido común – boletín Nro. 4*

preparación dependen de la secuencia, cuando tenemos restricciones que alimentan a otras restricciones, etc.).

Si por otro lado la restricción se encuentra en que la tasa de abastecimiento de la materia prima es menor que la demanda del mercado, se podría:

- Minimizar el scrap (desperdicio), y planificar un buen ambiente de control de calidad de tal forma que se minimice la pérdida de materiales (tan necesitados bajo estas condiciones) por productos defectuosos.
- Producir planificadamente sin llegar a volúmenes innecesarios (para el caso de productos que mantienen stock) que luego la venta no los pueda evacuar.<sup>21</sup>
- Planificar el orden de entrada de diferentes productos a un mismo recurso de tal forma que se reduzcan los nuevos seteos en las máquinas al máximo.

En el caso de restricciones de Mercado, no hay excusa para no cumplir con los compromisos contraídos con los clientes. Si el cumplimiento no es 100% es porque existen restricciones de material o de capacidad<sup>22</sup>.

### **Paso 3 - SUBORDINAR todo lo demás a la decisión anterior.-**

Al quedar la restricción anterior superada, pues Herbie tiene un nuevo ritmo de caminata, todo el grupo empieza a movilizarse a una velocidad mayor, así también en la producción luego de que el cuello de botella ha sido elevado en

---

<sup>21</sup> Goldratt Asociados. <http://www.goldratt.com.mx/mailings/boletin05.html>, *Teoría de Restricciones los negocios con sentido común – boletín Nro. 5*

<sup>22</sup> Goldratt Asociados. <http://www.goldratt.com.mx/mailings/boletin10.html>, *Teoría de Restricciones los negocios con sentido común – boletín Nro. 10*



capacidad todas las operaciones relacionadas con este se las deberá subordinar al mismo para aprovechar al máximo la mejora en el cuello de botella.

Es muy probable que efectuar este paso 3, sea uno de los más complicados por el hecho de romper lo establecido (pensamiento cartesiano), pues se debe definir una rapidez de trabajo basada en la capacidad del cuello de botella; esto significa que por más que otras operaciones alcancen a producir más, esto no es lo correcto ya que estarían incrementando inventario en proceso que no conviene a nadie en una organización. Por lo tanto, si un no cuello de botella no está ocupado el 100% de su tiempo, no hay problema, se debe permitir que dicho centro de trabajo produzca solo lo que se requiere para que toda la línea avance a la misma velocidad (es difícil pero hay que romper este pensamiento que lo llevamos establecido).

Para desarrollar este paso 3 se debe tener muy en claro, entonces, las relaciones de interdependencia que existen entre cada una de las operaciones; para esto ayudará la creación de diagramas de Árbol de Realidad Futura y Nube de conflicto. El árbol de realidad futura tiene el mismo propósito que el de realidad actual, pero suponiendo que la restricción ya ha sido superada.

La nube de conflicto es una herramienta en la cual se encadenan ciertas necesidades con sus respectivos requerimientos, hasta llegar a los más básicos; en el caso de que entre estos se contrapongan, se trata de resolverlos mediante un punto de acuerdo equilibrado que satisfaga las varias condiciones, si esto no es posible es porque dichos requerimientos son mutuamente

excluyentes y se debe llegar a definir cuál de estos tiene una suposición errónea y eliminarlo de la cadena original.<sup>23</sup>

Desarrollando un poco este asunto se puede decir que si a todos los recursos se trata de mantenerlos a un ritmo de 100% (con el objetivo de mejorar su indicador de eficiencia local), siempre existirá uno o más recursos con capacidad menor y que por lo tanto frente a estos, generará inventario de proceso en cantidades cada vez más crecientes.

Los párrafos anteriores apoyan la idea de lo mencionado al inicio de este paso 3, romper el pensamiento cartesiano instaurado en la gran mayoría de personas que gestionan la producción, e impulsar el pensamiento sistémico.

Hasta este punto del camino ya se puede decir que “ya se obtiene el máximo provecho del sistema. La siguiente pregunta es, entonces, ¿cómo podemos seguir mejorando?”<sup>24</sup>. La respuesta está en los pasos 4 y 5.

#### **Paso 4 - ELEVAR las restricciones de la empresa.-**

En esta etapa lo que se busca es aumentar la capacidad del cuello de botella mediante algunas guías a seguir, como por ejemplo:

- Compra de maquinaria que ejecute lo mismo que aquella que se encuentra a su capacidad el 100% del tiempo.

---

<sup>23</sup> Goldratt's Marketing Group *TOC insights into operations*, New York, Chap. 6, documento digital.

<sup>24</sup> Goldratt Asociados. <http://www.goldratt.com.mx/mailings/boletin06.html>, *Teoría de Restricciones los negocios con sentido común – boletín Nro. 6*

- Contratación de personal adicional con habilidades apropiadas, esto si fuera del caso pues existen ocasiones en las que el aumentar la mano de obra no influye pues el proceso tiene un alto nivel de automatización.
- Si el proveedor de materiales es quien genera la restricción, se deberá buscar nuevos proveedores que satisfagan la necesidad.
- Para el caso de que un análisis de costo – beneficio de una inversión a largo plazo justifique un crecimiento de la planta, se lo debería considerar.

Es importante tomar en cuenta que las etapas hasta ahora revisadas se deben dar en el orden establecido, pues comúnmente se ha podido observar que las organizaciones dan el paso 4 sin efectuar previamente los anteriores, esto puede ir en desmedro económico de las mismas, ya que se invierte sin haber explotado completa y correctamente los recursos y además sin ningún tipo de dirección, pues no se han definido los cuellos de botella de manera apropiada.<sup>25</sup>

En esta etapa de la gestión podría ayudar las herramientas como son: el Árbol de transición y pre-requisitos.

### **Paso 5 - Volver al Paso 1.-**

Hace falta luego volver a verificar la existencia o no de nuevos cuellos de botella, en función de que la línea de producción ha alcanzado una nueva rapidez para la entrega de productos, y por lo tanto hay la posibilidad de que

---

<sup>25</sup> Goldratt Asociados. <http://www.goldratt.com.mx/mailings/boletin06.html>, *Teoría de Restricciones los negocios con sentido común – boletín Nro. 6*

ciertos centros de producción hayan quedado con capacidad inferior a la lograda en la última gestión.

En vista de que las restricciones políticas o de decisión, no se las puede tratar de la misma forma que a las físicas (no hay sentido subordinarse a un criterio erróneo), el proceso planteado para superarlas es:

Paso 1 - IDENTIFICAR las restricciones políticas de la empresa.

Paso 2 - ELEVAR las restricciones de la empresa – etapa de diseño de una solución.

Paso 3 - ELEVAR las restricciones de la empresa – etapa de implementación.

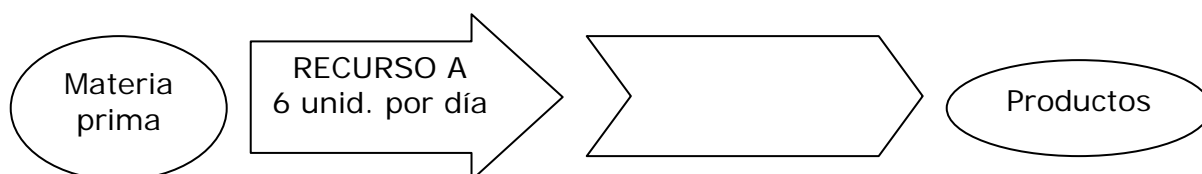
Paso 4 - Volver al Paso 1.

### **Fluctuaciones estadísticas y eventos dependientes.--**

Existen dos conceptos muy importantes dentro de todo este tema de teoría de las restricciones que se pueden relacionar con el ejemplo narrado de Herbie, y estos son las fluctuaciones estadísticas y los eventos dependientes. En el ejemplo se puede reconocer que el ritmo de los excursionistas diferentes a Herbie, no se los puede encasillar en una sola categoría representada por un valor único de velocidad de avance, ya que se pueden dar situaciones como que un chico tenga que detenerse para amarrarse los cordones de sus zapatos, o que se detenga para abrir su cantimplora e hidratarse o para ver un paisaje interesante, etc; es decir situaciones que se escapan de la planificación exacta y matemática en una línea de producción, pero que deberían ser consideradas para definir un tiempo de entrega más cercano al real en la fabricación de un producto.

Los eventos dependientes se relacionan con el hecho de que en la caminata, siempre se la desarrolla en una columna de personas, en otras palabras para que la persona de atrás camine un tramo, es necesario que la de adelante ya lo haya superado. Así mismo en la producción, se tiene un proceso de actividades en las cuales se necesita un orden pre-establecido para alcanzar una fabricación correcta de un determinado producto.

Para explicar de mejor manera estos conceptos y su relación, se puede plantear un caso como el que se encuentra esquematizado a continuación:



Se trata de un proceso productivo en el cual el promedio de unidades por día que procesa el recurso A es de 6 unidades y el recurso B es también 6 unidades. Según registros del histórico de capacidad de estos recursos se tiene que el valor más bajo es de 3 unidades por día y el más alto es de 9 unidades por día (con probabilidad de ocurrencia del 50% cada uno). Por lo tanto es incorrecto afirmar que la tasa de producción promedio de toda la línea sea de 6 unidades por día, puesto que desglosando todas las posibilidades en función de su probabilidad de ocurrencia se tendría:

- Si el recurso A trabaja a 3 unidades por día y el B a 3 unidades por día, el resultado es 3 productos por día.
- Si el recurso A trabaja a 3 unidades por día y el B a 9 unidades por día, el resultado es 3 productos por día.

- Si el recurso A trabaja a 9 unidades por día y el B a 3 unidades por día, el resultado es 3 productos por día.
- Si el recurso A trabaja a 9 unidades por día y el B a 9 unidades por día, el resultado es 9 productos por día.

De esta manera, la tasa de producción promedio de la línea sería de  $(3+3+3+9)$  entre 4 = 4.5 unidades por día.

Este ejemplo aclara de una manera muy ilustrativa la relación existente entre los eventos dependientes (por más que el recurso A esté a 9 unidades por día si el B está solo a 3 solo se podrá sacar 3 productos por día) y las fluctuaciones estadísticas (puede ser que el operador de la A no haya ido a su trabajo motivado y saque 3 unidades por día y el de la B si y se encuentre a un ritmo de 9 unidades por día).

Además se demuestra que la gran mayoría de decisiones tomadas con base en los promedios no son las más correctas, siempre se deberá buscar la forma de ponderar valores que ayuden a una mejor interpretación, puesto que a mayor variabilidad e interdependencia entre recursos, más alejada puede estar la respuesta obtenida con un análisis de promedio simple, de la óptima en la resolución de un cierto problema.<sup>26</sup>

Para solucionar este problema se necesitaría una reserva de material entre los dos recursos de tal forma que el recurso B no se llegue a quedar sin material por una mayor velocidad de producción o por una baja en el recurso A. Para esto se tiene el aporte teórico de la Teoría de Colas (Filas de espera) o

---

<sup>26</sup> Goldratt Asociados. <http://www.goldratt.com.mx/mailings/boletin07.html>, *Teoría de Restricciones los negocios con sentido común – boletín Nro. 7*

Simulación Directa (Análisis de simulación), temas que serán analizados más adelante.

De todas estas líneas anteriores, se puede sacar una de las conclusiones más determinantes dentro de esta teoría que está siendo tratada, el tiempo ganado o perdido en un recurso que no es restricción no tiene importancia, en cambio el tiempo ganado en una restricción es tiempo ganado en toda la línea de producción y el tiempo perdido en una restricción es tiempo irrecuperable y desperdiciado en la gestión de la producción de una empresa.

Consecuentemente, se puede decir que los no cuellos de botella deberían trabajar en las piezas que servirán para alimentar a los cuellos de botella, y que estos segundos deben estar muy bien administrados para no perder tiempo en su trabajo.<sup>27</sup>

La forma de pensar anteriormente, era que hay que trabajar tanto como sea posible generando altos inventarios innecesarios de producto en proceso. Actualmente se está promoviendo que toda la filosofía anterior se la mantenga para los cuellos de botella, es decir aprovecharlos al máximo, y para los otros recursos se deberá trabajar cuando se lo tenga que hacer. Para precisar un poco más sobre estos valores de tiempo, tamaños de lote, coordinación etc, se pasará a revisar el modelo: Tambor - amortiguador - cuerda.

---

<sup>27</sup> Goldratt's Marketing Group *TOC insights into operations*, New York, Chap. 12, documento digital.

### **Tambor, amortiguador y cuerda.-**

Existen ciertos fundamentos que ya se los ha venido manejando desde antes, en el presente estudio, y que son los que van ayudar al mejor entendimiento de este procedimiento DBR (del inglés Drum – tambor, buffer – amortiguador y roop – cuerda). Estos son:

Una hora perdida en el cuello de botella es una hora perdida en el sistema entero.

Los recursos no cuellos de botella no deberían ser evaluados de acuerdo a sus eficiencia locales.

Como corolario se desprende la regla del correccaminos: “Cuando se tenga trabajo, hay que hacerlo tan rápido como sea posible, caso contrario hay que esperar”.<sup>28</sup>

**Drum - tambor:** dado el caso de una empresa inserta en la industria, en ¿Qué es lo que hay que trabajar? De esta se abren dos subpreguntas: ¿Qué es lo que quiere el mercado? y ¿Qué es capaz de entregar la empresa? No es posible procesar todas las órdenes al mismo tiempo, pues ninguna organización tiene capacidad infinita, de tal forma que hay que analizar ¿Cuál es el recurso que tiene la capacidad mínima? y en función de este planificar la producción.

La lista de trabajo para el cuello de botella se la llama TAMBOR, puesto que todos los recursos deberían ser administrados tal que el cuello de

---

<sup>28</sup> Goldratt's Marketing Group *TOC insights into operations*, New York, Chap. 14, documento digital..



botella sea utilizado tanto como sea posible; de esta manera, la lista de trabajo para el cuello de botella debe ser el golpe de tambor que determina el ritmo de la operación total.

Se podría nombrar algunas consideraciones para planificar el trabajo en un cuello de botella, como por ejemplo: ¿Qué orden es la más urgente? ¿Qué producto requiere más tiempo de proceso desde el cuello de botella hasta que se lo despache? ¿Qué producto en proceso está en la espera de ser procesado por el cuello de botella? ¿Cuál es el seteo que requiere el cuello de botella en un determinado momento?, etc.

En organizaciones en las cuales existe amplia capacidad en exceso, también existe la restricción, y el referente de planificación o TAMBOR es la lista de órdenes de producción y sus fechas de entrega.<sup>29</sup>

**Buffer - amortiguador:** Para proteger la planificación de la producción en cuanto a fechas de cumplimiento, se tiene que definir a la perturbación y los daños que ocasiona. Una perturbación es cualquier asunto particular que hace que el centro de trabajo se bloquee momentáneamente y como consecuencia exista una falta de alimentación a los recursos aguas abajo de la producción y una obstrucción del flujo de trabajo aguas arriba de la misma.

Entonces, la restricción debería tener un inventario apropiado de producto en proceso, para el caso en que los recursos aguas arriba

---

<sup>29</sup> Goldratt's Marketing Group *TOC insights into operations*, New York, Chap. 14, documento digital.

tengan problemas inesperados, y por consiguiente no hayan vacíos de trabajo en los recursos tipo CCR. De esta manera se reconoce que en el recurso anterior a la restricción, se debe liberar producto en proceso con un tiempo de anticipación adecuado, al cual se lo llamará AMORTIGUADOR.

Se debe tomar en cuenta que hay que encontrar un equilibrio en el tamaño del amortiguador, pues uno de tamaño muy pequeño no generará suficiente protección en contra de las perturbaciones, mientras que uno muy grande implicará altos inventarios en proceso, tiempo de ocupación de los recursos y por lo tanto más dinero invertido que no necesariamente generará throughput (definido más adelante en los indicadores claves de la gestión con TOC).<sup>30</sup>

El amortiguador entonces es el tiempo de protección contra las perturbaciones desconocidas. La ocurrencia de estas no es lo que se pone en duda, pues se sabe que tarde o temprano se van a dar; lo desconocido de estas es cuándo van a ocurrir y qué tiempo van a durar. Como un dato estadístico se tiene que, cerca del 20% de las perturbaciones que se presentan en una fábrica duran cinco minutos y tan solo el 1% dura dos días.<sup>31</sup>

Según la protección que se requiera frente a algún tipo de restricción, se puede clasificar a los amortiguadores en varios tipos que son:

Amortiguador de recursos, frente a cada recurso que sea restricción se

---

<sup>30</sup> Goldratt's Marketing Group *TOC insights into operations*, New York, Chap. 14, documento digital.

<sup>31</sup> Eliyahu Goldratt, *El síndrome del pajar*, México, Ediciones Castillo, 2002 p. 105.

deberá acumular inventario de producto en proceso que lo protegerá de no quedarse sin trabajar. Amortiguador de embarque, en el andén de despachos se deberá disponer de producto terminado (en el caso que se trate de material de stock – o producto estándar) de tal forma que se pueda cumplir con fechas de entrega a los clientes. Amortiguador de ensamble, este tiene que ver con un centro de ensamble en donde las partes componentes contienen a una proveniente de un recurso restricción, entonces si el trabajo está planificado de tal forma que todo marche a tiempo no valdría la pena que la parte proveniente de la restricción espere debido a que una de un recurso no restricción no está listo todavía, entonces frente a cada centro de trabajo que tenga que ver con un ensamble en las condiciones mencionadas deberán estar listas, antes del arribo de la parte de la restricción, todas las partes provenientes del recurso no restricción.<sup>32</sup>

Se debe estar claro respecto al concepto del amortiguador relacionado con el tipo de restricción que se está manejando, solo las restricciones físicas deberán ser amortiguadas, las políticas deben ser elevadas.<sup>33</sup>

La decisión de la longitud de los amortiguadores debe estar en manos de las personas directamente responsables del desempeño general de la empresa.<sup>34</sup> En una primera alternativa se podría definir que el

---

<sup>32</sup> Eliyahu Goldratt, *El síndrome del pajar*, México, Ediciones Castillo, 2002 p. 140.

<sup>33</sup> Eliyahu Goldratt, *El síndrome del pajar*, México, Ediciones Castillo, 2002 p. 139.

<sup>34</sup> Eliyahu Goldratt, *El síndrome del pajar*, México, Ediciones Castillo, 2002 p. 134.

amortiguador sea la mitad del tiempo de proceso hasta llegar al cuello de botella (lead time)<sup>35</sup>.

**Rope - cuerda:** en este punto del análisis, hace falta regular el flujo de liberación de material de acuerdo a lo que disponga el tambor y el amortiguador. Este papel es el que desempeña la CUERDA.

Es decir, la cuerda define el cronograma de liberación de los materiales en proceso, que se encuentran justo antes de una restricción, con un tiempo de antelación igual al amortiguador. Claro está que el momento de liberación antes de la restricción es el importante, pero no es el único definido por la cuerda, ya que esta define el cronograma de todo el avance de la producción, puesto que se supone se mantiene registros de tiempo de proceso en todos los demás recursos no restricción.<sup>36</sup>

En esta parte es donde debe tener lugar el cambio cultural de la gente, puesto que la cuerda dictamina permanecer a un recurso desocupado de tiempo en tiempo, y por lo tanto romper el paradigma establecido en la gente en cuanto a trabajar tanto como ellos puedan, es el objetivo.<sup>37</sup>

---

<sup>35</sup> Goldratt's Marketing Group *TOC insights into operations*, New York, Chap. 17, documento digital.

<sup>36</sup> Goldratt's Marketing Group *TOC insights into operations*, New York, Chap. 14, documento digital.

<sup>37</sup> Goldratt's Marketing Group *TOC insights into operations*, New York, Chap. 18, documento digital.

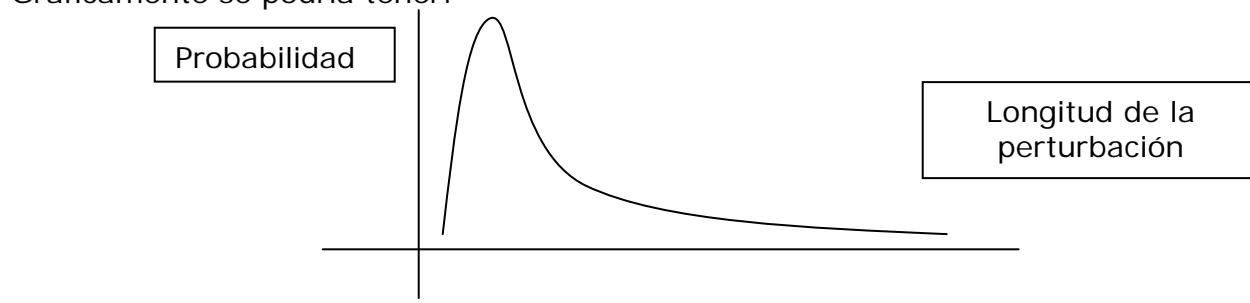
## Administración del amortiguador.-

Hay otra herramienta que ayuda a resolver algunas interrogantes planteadas que no las llega a solucionar el DBR, esta es la Administración del amortiguador. Cuál debería ser el orden de priorización de trabajo en un recurso no restricción? para el caso de los recursos aguas arriba de la restricción (si se tratara de una orden con varios tipos de productos), se debería procesar primero el producto requerido por la restricción, y en el caso de que el recurso se encuentre aguas abajo de la restricción, se debería trabajar en el más urgente o en el producto que primero se debe despachar. Todo debería funcionar, claro esta, al ritmo que lo dicte el tambor.

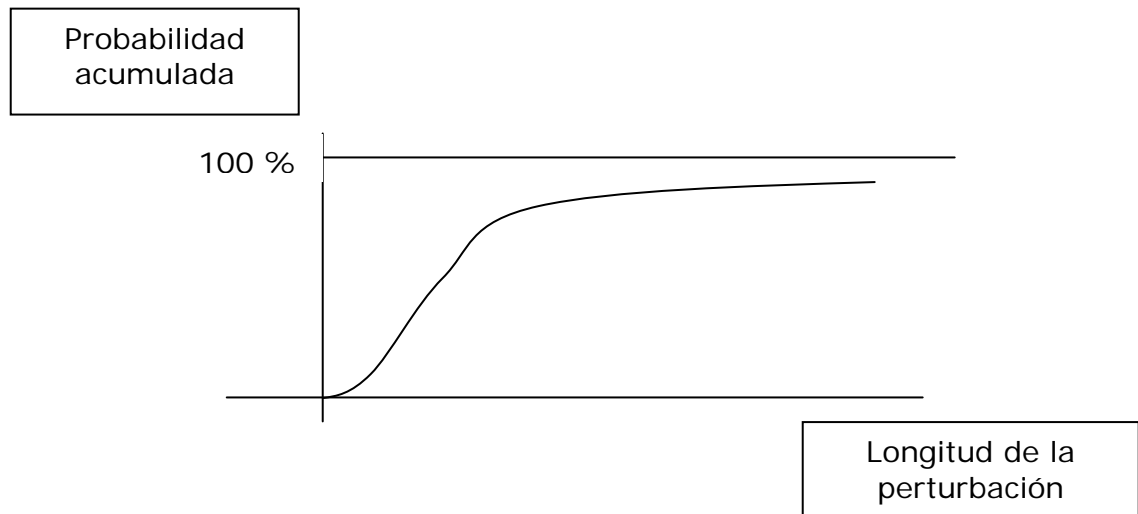
Dentro de toda esta programación, también deberían estar planificados los seteos de las máquinas o funciones de soporte.

Otro concepto relacionado con los amortiguadores es la expeditación, el cual es un término que se utiliza para poder cubrir todo lo que no se ha protegido con la longitud del amortiguador planteada. Explicando un poco más este asunto, si se quisiera tener un amortiguador que sea capaz de proteger a la producción de todas las perturbaciones posibles, la longitud de este debería ser infinita, cosa que en la práctica no es posible.<sup>38</sup>

Gráficamente se podría tener:



<sup>38</sup> Goldratt's Marketing Group *TOC insights into operations*, New York, Chap. 19, documento digital.



El primer gráfico permite visualizar la probabilidad de ocurrencia de una perturbación frente a su tiempo de duración, y el segundo gráfico es la integral del primero, es decir la probabilidad de superar la perturbación respecto al tiempo de duración que tiene esta. En este segundo gráfico se puede apreciar claramente lo que ya se mencionó respecto a que no existe un amortiguador que cubra todas las posibles perturbaciones, entonces la opción que queda es asumir un riesgo apropiado de tal forma que solo se cubra hasta un 90% (por ejemplo) de la probabilidad, y el resto expeditarlo, es decir al llegar al 90% del amortiguador, en el caso de que todavía no se encuentre todo el material en el sitio, irlo a buscar y hacerlo pasar sin ningún tipo de detenimiento por las operaciones que aún hace falta para llegar al destino.<sup>39</sup>

---

<sup>39</sup> Eliyahu Goldratt, *El síndrome del pajar*, México, Ediciones Castillo, 2002 p. 133.

Entonces la inquietud es cuándo se debería expeditar? Se supone que la longitud del amortiguador se la puede dividir en 3 partes iguales (tercios), es en el último tercio en donde ya deberían estar las partes para que las pueda trabajar el cuello de botella, si no ocurre estos hay que ir en la búsqueda del producto requerido.

Definido el amortiguador, cómo se puede dar cuenta que sea de tamaño apropiado o no? Se puede decir que si se expedita menos del 5% del trabajo, el amortiguador es muy grande y se está desperdiciando tiempo y dinero en inventarios, por el contrario si lo expeditado es mucho más que el 5%, el amortiguador se puede decir que es muy pequeño y se está poniendo en peligro el throughput y desperdiciando esfuerzos. Si el valor aproximado de expeditación está cercano al 5% se puede decir que el amortiguador está bien definido.<sup>40</sup>

### **Indicadores clave en la gestión con TOC.-**

En la metodología TOC, los indicadores fundamentales son: Trúput (forma en que se pronuncia el término *Throughput*), Inventarios y Gastos de Operación.

El Trúput es la velocidad a la cual una organización genera dinero a través de las ventas. Que quede claro, a través de las ventas, es decir que así se produzca si no se ha vendido, no sirve de nada.

El Inventario es todo el dinero que la empresa invierte en la compra de materiales que pretende posteriormente vender. Esta definición es diferente de

---

<sup>40</sup> Goldratt's Marketing Group *TOC insights into operations*, New York, Chap. 20, documento digital.

la que se tenía antes, pues se está excluyendo el valor agregado de la mano de obra y los gastos generales de fabricación.

El Gasto de operación es todo el dinero que la organización gasta para poder transformar el inventario en tróput. En este concepto se incluye no solo a la mano de obra directa sino también todos los gastos administrativos.<sup>41</sup>

Ahora se puede ver claramente que esto no es totalmente contrario ni diferente a lo que hasta el día de hoy se manejaba a nivel financiero, ya que si se incrementa el tróput sin afectar los inventarios ni los gastos de operación, se tiene una clara influencia positiva sobre la utilidad neta, el retorno sobre la inversión y el flujo de efectivo. De la misma forma si se logra reducir los gastos de operación sin afectar adversamente al tróput y a los inventarios.

En el caso de que se reduzcan los inventarios, no existe una relación directa con la utilidad neta (indirectamente si se llega a una relación), pero es claro que se incrementarán el flujo de efectivo y el retorno sobre la inversión.<sup>42</sup>

### **Modelos de filas de espera.-**

Se llama filas de espera a una hilera formada por uno o varios clientes que están esperando por recibir un servicio. Estos clientes pueden ser: personas, productos en proceso, máquinas que requieren mantenimiento, etc.

Las filas de espera se producen, debido a que se genera un desequilibrio temporal entre la demanda del servicio requerido por un cliente, y la capacidad del sistema capaz de suministrarlo. Entonces, se puede dar el caso en el cual la

---

<sup>41</sup> Eliyahu Goldratt y Robert Fox, *La carrera*, Mexico, Ediciones Catillo, 2002, p. 32.

<sup>42</sup> Eliyahu Goldratt y Robert Fox, *La carrera*, Mexico, Ediciones Catillo, 2002, p. 34.



capacidad de un determinado sistema sea superior al promedio de la demanda de un determinado servicio (en cuyo caso el administrador del sistema aparentemente se encuentra tranquilo), pero dicha demanda puede tener una variabilidad propia a lo largo de un período de tiempo, en el cual se van a presentar picos de demanda donde la capacidad es menor que el servicio requerido y consecuentemente se generarán filas de espera.

Contrariamente a lo expuesto, si no hay variabilidad en las tasas de demanda o servicio, y la capacidad es suficiente, no se formarán filas de espera.<sup>43</sup>

Los componentes del análisis de problemas de filas de espera son: población de clientes, instalación de servicio y regla de prioridad.

**Población de clientes.-** es la fuente de insumos sobre la cual el sistema da un determinado servicio. Existen dos tipos de fuentes de insumos: las finitas y las infinitas. Las primeras están determinadas porque el número de clientes en el sistema influye notablemente sobre la potencialidad de tener clientes adicionales, por ejemplo: se tienen 10 máquinas para las cuales hay una cuadrilla que las reparará en el caso de que fallen, si al sistema de reparación han ingresado ya algunas, a medida que sigan ingresando la probabilidad de que la tasa de ingreso se mantenga disminuye.

En cambio en aquellas fuentes de insumos en donde el número de clientes inmersos en el sistema, no influye en la tasa de posibles nuevos ingresos, en vista de su gran número, se las llama fuentes infinitas. Este es el caso por

---

<sup>43</sup> Lee Krajewski y Larry Ritzman *Administración de operaciones*, Mexico, Pearson Education, 2000, p. 327.

ejemplo de las compras por catálogo que se hacen vía correo, en donde la población de clientes es tan grande que un pedido o más no ejercen influencia en el resto de clientes.

Además se puede hablar de clientes pacientes e impacientes, los primeros que entran al sistema y permanecen hasta ser atendidos y los segundos que son aquellos que o se arrepienten de ingresar o luego de haberlo hecho desertan antes de recibir el servicio.

**El sistema de servicio.-** este componente se define por el número de filas y la disposición de instalaciones de servicio.

Las filas de espera pueden tener la forma de una sola fila o de filas múltiples, en el primer caso quienes proveen el servicio se mantienen todos ocupados uniformemente y genera en los clientes la percepción equitativa de que conforme han llegado van a ser atendidos y no como en un sistema de filas múltiples, en el cual el cliente hace fila en donde supone que va a ser atendido más rápidamente.

La definición entre estos dos también responde al mix de servicios que puede ofrecer cada servidor, para el caso en que todos estén en capacidad de dar el mismo servicio es aplicable el sistema de una sola fila, si no es así el sistema de filas múltiples es el más apropiado.

Para el caso de una operación de mantenimiento esto también es aplicable ya que si bien es cierto no hacen una fila física frente a la cuadrilla de mecánicos, se dispone un orden de atención para quienes han ingresado al sistema.

La disposición de instalaciones de servicio consiste en cómo está conformado el personal y/o equipo que proporciona dicho servicio. Este componente depende de que el servicio se lo de en uno o varios pasos (fases) y por uno o varios servidores (canales).

Se pueden dar varias opciones: un solo canal y una sola fase, un solo canal y múltiples fases, múltiples canales y una sola fase, y múltiples canales con múltiples fases. La opción más apropiada va a estar dada por el tipo y complejidad del servicio que se tiene que dar.

**Regla de prioridad.-** esta característica determina el orden al cual se debe atender a los clientes. Generalmente se usa la ley el primero en llegar es el primero al que hay que atender, pero hay otras premisas que también se puede encontrar: dar el servicio al cliente cuya fecha de entrega esté más próxima, atender a quien tenga el tiempo de servicio más corto, etc.

Dentro de esta regla prioritaria existe la disciplina prioritaria que no es sino expeditar un trabajo de alta prioridad, es decir interrumpir el trabajo con un cliente en función de la alta prioridad que tiene otro.

Un modelo de análisis de filas de espera contempla además de todos estos aspectos cualitativos, otros cuantitativos muy importantes como son: tiempos de llegada y tiempos de servicio. Al primero se lo estudia probabilísticamente mediante la Distribución de Poisson<sup>44</sup>.

---

<sup>44</sup> Considerando una urna que contiene bolas blancas y negras, las primeras en proporción  $w$ , y extrayendo  $n$  bolas consecutivas, la probabilidad de haber extraído de entre ellas  $k$  bolas blancas, será  $p_k$ . La correspondencia  $(k, p_k)$  define la llamada distribución binomial (Ley de Bernoulli), pues  $p_k$  vale:  $p_k = \binom{n}{k} \cdot w^k \cdot (1-w)^{n-k}$ , y es un término del desarrollo del binomio  $[w + (1-w)]^n$ . La Distribución de Poisson es el límite

"Si la población de clientes genera a estos de acuerdo con una Distribución de Poisson, entonces la distribución exponencial describe la probabilidad de que el próximo cliente llegue durante los siguientes T períodos de tiempo....."<sup>45</sup>

De todo este tratamiento matemático brevemente descrito antes, se puede decir que no siempre la realidad va a quedar completamente reflejada por un modelo, ya que la distribución exponencial en el tiempo de servicio supone que cada tiempo registrado es independiente de los precedentes, lo cual no es muy real ya que a medida que pasa el tiempo cada uno de los servidores (capaces de ganar experiencia) van mejorando su productividad en función del aprendizaje registrado en cada sitio de trabajo.

Las conclusiones de un modelo de filas de espera permitirá a los administradores manejar ciertos parámetros que ayuden a dar un mejor servicio, estos son: tasa de llegada, número de servidores, número de fases en el servicio, número de personas por cada servidor, eficacia del servidor, reglas de prioridad, disposición de filas.

Cuando las características de un modelo de filas de espera (filas, prioridad e instalaciones de servicio) son tan especiales que su comportamiento no puede reflejar la realidad de una manera confiable, se opta por la simulación.<sup>46</sup>

---

de la Distribución binomial cuando  $w$  tiende a cero y  $n$  a infinito, siendo constante el producto  $n.w = L$ . La Distribución de Poisson es:  $p_k = e^{-L} \cdot (L^k / k!)$ . En el control industrial es interesante esta distribución cuando las proporciones de piezas defectuosas sean pequeñas y las muestras cuantitativamente importantes. Enciclopedia SALVAT tomo 4, 1978.

<sup>45</sup> Lee Krajewski y Larry Ritzman *Administración de operaciones*, Mexico, Pearson Education, 2000, p. 332.

<sup>46</sup> Lee Krajewski y Larry Ritzman *Administración de operaciones*, Mexico, Pearson Education, 2000, p. 341.

### **Análisis de simulación.-**

La simulación es el acto de reproducir el comportamiento de un sistema, utilizando un modelo que describa las operaciones de dicho sistema. Ya desarrollado dicho modelo, el analista puede manipular algunas variables de tal forma que puede observar los efectos en los particulares que le interese.

Los modelos de filas de espera no son modelos de simulación ya que la operación queda descrita por ecuaciones ya conocidas, según sea el caso, mientras que las ecuaciones obtenidas a partir de una análisis de simulación son desconocidas hasta el momento en que se las genera.

Se procede a la simulación cuando un modelo de filas de espera se vuelve muy complicado o la relación entre variables no es lineal, cuando se requieren realizar pruebas de resultados frente a posibles decisiones sin perturbar el funcionamiento normal de los sistemas reales, cuando para saber las consecuencias de un determinado cambio, que solo se podrían conocer en largos período de tiempo si se lo quisiera observar en tiempo real, se plantea la idea de la compresión del tiempo mediante la cual varios años en tiempo real significarían unos cuantos minutos con la ayuda de una computadora.<sup>47</sup>

El proceso para conseguir un modelo de simulación incluye: recolección de datos, asignación de números aleatorios, y formulación de un modelo.

**Recolección de datos.-** se la hace cuando las fuentes lo permiten, tal es el caso de archivos históricos de la industria, informes del gobierno,

---

<sup>47</sup> Lee Krajewski y Larry Ritzman *Administración de operaciones*, Mexico, Pearson Education, 2000, p. 347.

publicaciones, etc; caso contrario se aplicarán procedimientos estadísticos mediante muestreos sobre la población respectiva.

**Asignación de números aleatorios.-** se reconoce como número aleatorio al que tiene la misma probabilidad de ocurrencia que cualquier otro, y el valor que asume cada uno de estos, con su respectiva ponderación matemática, refleja toda la vulnerabilidad a lo inesperado que tiene la realidad.

**Formulación del modelo.-** para esta parte se reconocen varios tipos de variables dentro del modelo: las de decisión, las incontrolables y las dependientes. Las variables de decisión están controladas por la persona que está llevando a cabo el análisis, y los diferentes valores que asume servirán para establecer los varios casos posibles. Las variables incontrolables son aquellas que escapan a todo control y fluctúan dentro de parámetros establecidos por la recolección de datos (es en este tipo de variables en donde tienen influencia los números aleatorios). Y las variables dependientes que son consecuencia (mediante ecuaciones matemáticas) de la interrelación entre las de decisión y las incontrolables.

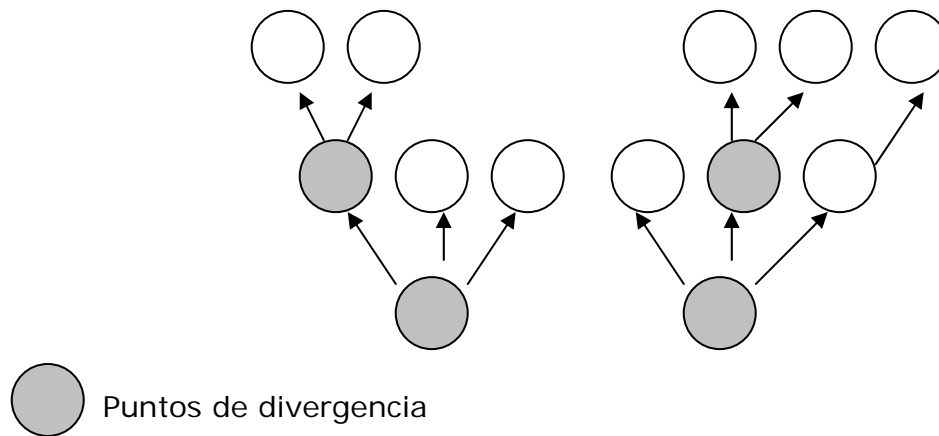
Algo muy importante en un modelo de simulación es la selección del período modelado durante el cual se van a obtener resultados, que sirvan de base para la toma de decisiones.<sup>48</sup>

---

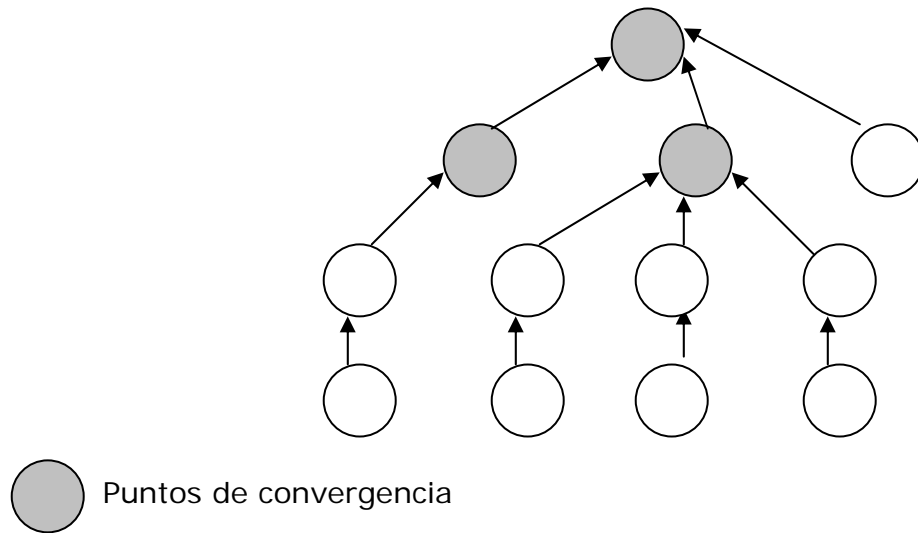
<sup>48</sup> Lee Krajewski y Larry Ritzman *Administración de operaciones*, Mexico, Pearson Education, 2000, p. 347.

### Tipologías de organización de la producción.-

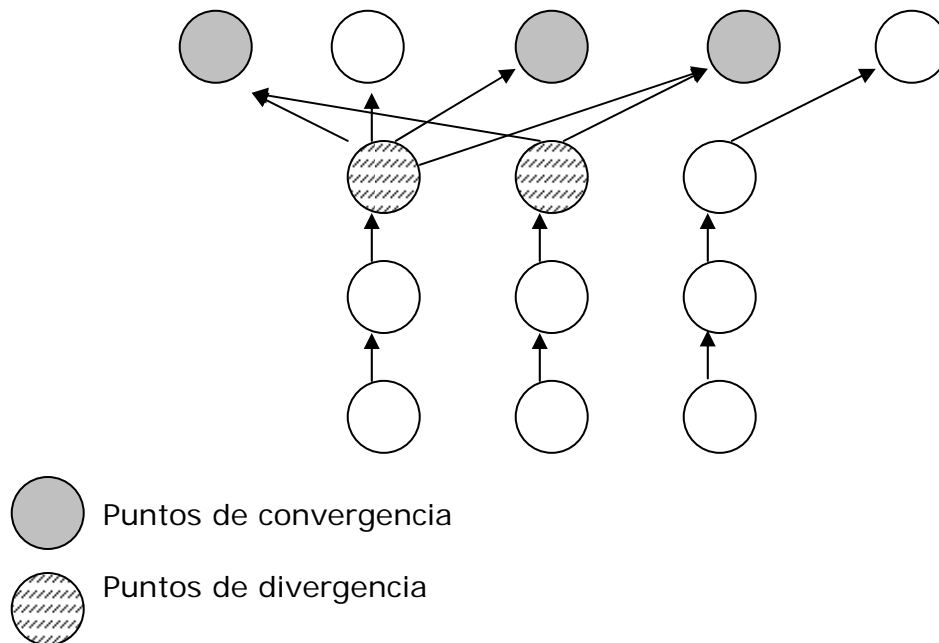
**Organización tipo V:** La característica principal de esta tipología es la existencia de puntos de divergencia que se encuentran a medida que el producto avanza por la línea de producción, el mayor riesgo de esta tipología es que se genere *stealing* es decir que un producto que debía haber ido por un camino fue por otro. Esto generará reproceso (en el caso de que sea factible) o una pérdida del ensamble hasta el punto en que llegó, en el caso de que sean irrecuperables las partes. La figura siguiente esquematiza esta tipología:



**Organización tipo A:** La característica principal de esta tipología en cambio es la existencia de puntos de convergencia que se encuentran a medida que el producto avanza por la línea. El mayor riesgo al cual esta sujeta esta organización es la sincronización de las partes componentes de un ensamble definido, en el caso de que dichas partes no se encuentren en el momento y lugar indicado generarán un retraso en la producción. Un esquema de este tipo de organización sería:



**Organización tipo T:** Lo que caracteriza a esta tipología es que cada parte producida es requerida por más de un ensamble y cada ensamble requiere de más de una parte, es decir se dan puntos de convergencia y divergencia. Un esquema de este tipo de organización sería:





**Organización tipo I:** Se trata de una línea de proceso, transferencia o ensamble. La característica principal y a la vez gran problema es la sensibilidad a las perturbaciones que tiene este tipo de organización.<sup>49</sup>

---

<sup>49</sup> Goldratt's Marketing Group *TOC insights into operations*, New York, Chap. 3, documento digital.

### **CAPITULO III: Modelo de Planificación de la Producción.**

En este capítulo se analizarán todas las hojas o tablas de cálculo que se han generado para todo el tratamiento matemático del problema, además de ciertos criterios que definen cuantitativamente la teoría seleccionada. Esto aportará a que si se desea generar una herramienta con tecnología más avanzada, se pueda tener acceso a todo el flujo de datos de tal forma que se podría tener una arquitectura de software muy cercana al requerimiento real.

#### **Levantamiento de datos.-**

Para la preparación del modelo se requiere tener la información de las variables influyentes. Con este objetivo se definirán dos tipos de productos que se fabrican en la Planta que se va a analizar y se levantará los datos que servirán para el tratamiento matemático, en función de las líneas de producción que debe pasar cada producto por las diferentes máquinas existentes.

A continuación se presentan los formatos en los cuales se levantaría la información necesaria para cada tipo de producto:

- Para los productos en los cuales se debe mantener un stock:

1.- Descripción alfanumérica del producto	PS...
2.- Nivel de stock a mantener.	
3.- Tasa de reaprovisionamiento de materia prima	
4.- Procesos de fabricación seguidos en la elaboración del producto (en orden)	

5.- Seteo requerido en cada máquina para el producto (en el orden correspondiente a la pregunta 4)	
6.- Máquinas usadas en cada proceso de fabricación (en el orden correspondiente a la pregunta 4)	
7.- Capacidad efectiva <sup>50</sup> de cada máquina usada el proceso de fabricación (en el orden correspondiente a la pregunta 4)	
8.- Número de operadores en cada proceso de fabricación (en el orden correspondiente a la pregunta 4)	
9.- Período entre mantenimientos preventivos a máquinas en cada proceso de fabricación (en el orden correspondiente a la pregunta 4)	
10.- Frecuencia de mantenimientos correctivos a máquinas en cada proceso de fabricación (en el orden correspondiente a la pregunta 4)	

- Y para los productos en los cuales se produce bajo pedido:

1.- Descripción alfanumérica del producto.	PP...
2.- Demanda o volumen del producto.	
3.- Tasa de reaprovisionamiento de materia prima	
4.- Procesos de fabricación seguidos en la elaboración del producto (en orden)	

---

<sup>50</sup> Máxima salida de producción que un proceso o empresa es capaz de sostener económicamente en condiciones normales. Lee Krajewski y Larry Ritzman *Administración de operaciones*, Mexico, Pearson Education, 2000, p. 303.

5.- Seteo requerido en cada máquina para el producto (en el orden correspondiente a la pregunta 4)	
6.- Máquinas usadas en cada proceso de fabricación (en el orden correspondiente a la pregunta 4)	
7.- Capacidad efectiva de cada máquinas usada el proceso de fabricación (en el orden correspondiente a la pregunta 4)	
8.- Número de operadores en cada proceso de fabricación (en el orden correspondiente a la pregunta 4)	
9.- Período entre mantenimientos preventivos a máquinas en cada proceso de fabricación (en el orden correspondiente a la pregunta 4)	
10.- Frecuencia de mantenimientos correctivos a máquinas en cada proceso de fabricación (en el orden correspondiente a la pregunta 4)	

Toda esta información, luego de recolectada, se la ha sintetizado en la Tabla-1 (Anexo 2), en donde se puede tener una visión global de los productos que se fabrican, versus toda la maquinaria utilizada.

#### **Explicaciones varias sobre la información recopilada.-**

Los valores de capacidad y demanda o volumen de pedido se los ha pasado a una misma base de tiempo para que sean directamente comparables. Es decir

se ha definido la capacidad efectiva de la máquina para un período igual al cual se ha considerado el volumen de producto a fabricar.

En cuanto a la capacidad se ha definido, por parte del Jefe de Producción de la Planta analizada, que una máquina puede producir al máximo de manera sostenida (capacidad efectiva), durante un período de 16 horas por día y 20 días por mes.

El período de tiempo seleccionado como común para la capacidad y demanda tiene que ver mucho con la frecuencia en el ingreso de nuevos pedidos, y con el tiempo de procesamiento del producto; por lo tanto al ser estas, variables propias de la Planta que se analice, se lo debe definir según sea el caso.

El volumen de pedido es un concepto muy claro en los productos cuya producción son bajo pedido, pero en los productos en los cuales se mantiene stock, se registra en la tabla de datos dos valores diferentes que constituyen el llamado volumen de pedido, estos son: el nivel a mantener de stock, y el nivel existente de stock. En el momento en que el nivel de existencias quede por debajo del recomendado se generará una orden de producción cuyo volumen llegue a completarlo.

Algo muy particular se puede observar en cuanto a los valores de capacidad efectiva de las máquinas, y es que si se analiza una línea completa de cualquier máquina (en lo que respecta a capacidad), se puede mirar que no todos los valores pertenecientes a la mencionada línea son necesariamente iguales; esto es debido a que una misma máquina está sujeta a diferentes líneas de producto, y entonces el valor de capacidad va a depender del producto que se esté fabricando.

Además, respecto a las capacidades listadas en el Anexo 1, los valores ya incluyen los seteos o preparaciones que requieren las máquinas para la producción de cada producto, además de los valores representativos de mantenimientos preventivos y correctivos en la máquina respectiva.

El tiempo de proceso que consta en la tabla es un valor calculado con base en la capacidad de la máquina y el volumen a producir. De la misma forma que el número de horas hombre es dependiente del tiempo de proceso (horas máquina) y el número de operadores que intervienen.

En la parte de Ocupación de Capacidad, se está analizando de manera cruzada (vertical y horizontalmente) el porcentaje de utilización de las máquinas en función de su capacidad efectiva. Es decir, se revisa verticalmente (para cada producto) dividiendo el volumen para la capacidad, y luego se realiza la suma de estos parciales horizontalmente (para cada máquina) de manera que se verifica que cada máquina no exceda del 100% de su capacidad (esto se puede ver en el Anexo 3); en el caso de que esto ocurra, el aporte de este estudio es tratar de solucionar este embotellamiento de productos en las máquinas correspondientes.

Para el caso en que la suma horizontal de los parciales supere el 90%, se tomarán precauciones (generación de amortiguadores) ya que existe una alta probabilidad de que este recurso se constituya en un cuello de botella.

En las zonas últimas tanto de productos (zona izquierda) como de máquinas (zona inferior), se han aumentado casilleros llamados LIBRES, esto servirá si en el caso de que la Planta analizada requiera aumentar ya sea nuevos

productos o nuevas máquinas, si así lo deseara para gestionar nuevos productos que se sumen a la fabricación de los productos existentes.

Además cabe mencionar que los datos puestos en las líneas de volumen demandado, volumen de pedido, o diferencias entre stocks, representan una *fotografía instantánea* de un muy probable momento de la Planta, ya que dichos valores resultan de promedios históricos de la compañía. En la práctica, estos deberán ser remplazados por los valores reales para la respectiva evaluación en el momento en que se requiera.

Si bien es cierto que en el proceso expuesto en el capítulo I, de todas las actividades que se siguen para poner una orden a producir, consta la verificación de existencia de la materia prima antes de ingresar la orden, se la ha hecho contar en el Anexo 2 para cumplir con la revisión que se pide según TOC, en la cual se controla que el proveedor no se constituya en una restricción para el libre flujo del tróput.

### **Definición del modelo de planificación.-**

#### **Análisis de la información recopilada en los productos tipo PS.-**

A cerca de los productos en los que la organización ha definido mantener stock, se puede realizar un análisis para revisar si las cantidades de producto final almacenado son o no las apropiadas, en el caso de que no lo sean (por estar muy sobradas pues es poco probable que se encuentren subestimadas), el respectivo ajuste podrá aportar a una baja en el requerimiento de algunas máquinas y por lo tanto a aliviar la carga que sobre ellas pesa.

En el Capítulo I se ha definido las políticas que se manejan en este tipo de productos, ahora revisando la teoría se tiene que para una demanda incierta del producto, o lo que es lo mismo una demanda promedio variable, la decisión que ayudará a satisfacer la necesidad del cliente es definir un inventario de seguridad, que junto a un nivel de servicio apropiado determinarán la cantidad de inventario recomendado. Se puede usar un método alternativo como es el de la minimización de los costos, del cual también se extraería un inventario al que corresponde el costo mínimo, el problema es que para esto se requerirían estimaciones de costo que en la mayoría de veces resultan imprecisas y difíciles de calcular.<sup>51</sup>

El mencionado nivel de servicio apropiado se lo debe tratar como un valor ponderado en función de una probabilidad, esto significa que si se escoge un nivel del 90% quiere decir que solo existe un 10% de probabilidad en el cual la organización se puede quedar sin stock frente a la demanda del producto.

Realizando estas operaciones mediante la ayuda de una distribución normal, y sacando una estadística de ventas de los productos que se mantiene stock, se puede observar que la cantidad de producto final se puede reducir ostensiblemente al menos en los tres de los seis productos: PS01, PS02 y PS03. No ocurre esto en los otros tres en vista de que pertenecen a un tipo de negocio en el cual se ha definido como política totalmente estratégica una cantidad invariable de producto con la cual se puede responder al mercado con la mayor brevedad posible.

---

<sup>51</sup> Lee Krajewski y Larry Ritzman *Administración de operaciones*, Mexico, Pearson Education, 2000, p. 560.



Los resultados de este cambio pueden observarse en el Anexo 3, y la base de cálculo a continuación de la mencionada tabla. Para esto se absorbió la teoría descrita en los párrafos anteriores, con la salvedad de que se duplicó a este valor de stock de seguridad ya que el período de tiempo en el cual se deberían revisar los inventarios es semanal, y además se asumió que el período en el cual se va a terminar una producción de stock será máximo una semana.

### **Análisis de la información recopilada en los productos tipo PP.-**

En vista de que la producción en este tipo de productos solo se la puede iniciar a partir de una orden de pedido expresa, ya que su fabricación innecesaria generaría productos fuera del estándar y por lo tanto difíciles de adaptar a una necesidad determinada de algún cliente; la única manera de agilizar su producción en los menores tiempos posibles y además con plazos de entrega totalmente confiables es la gestión de la producción mediante TOC.

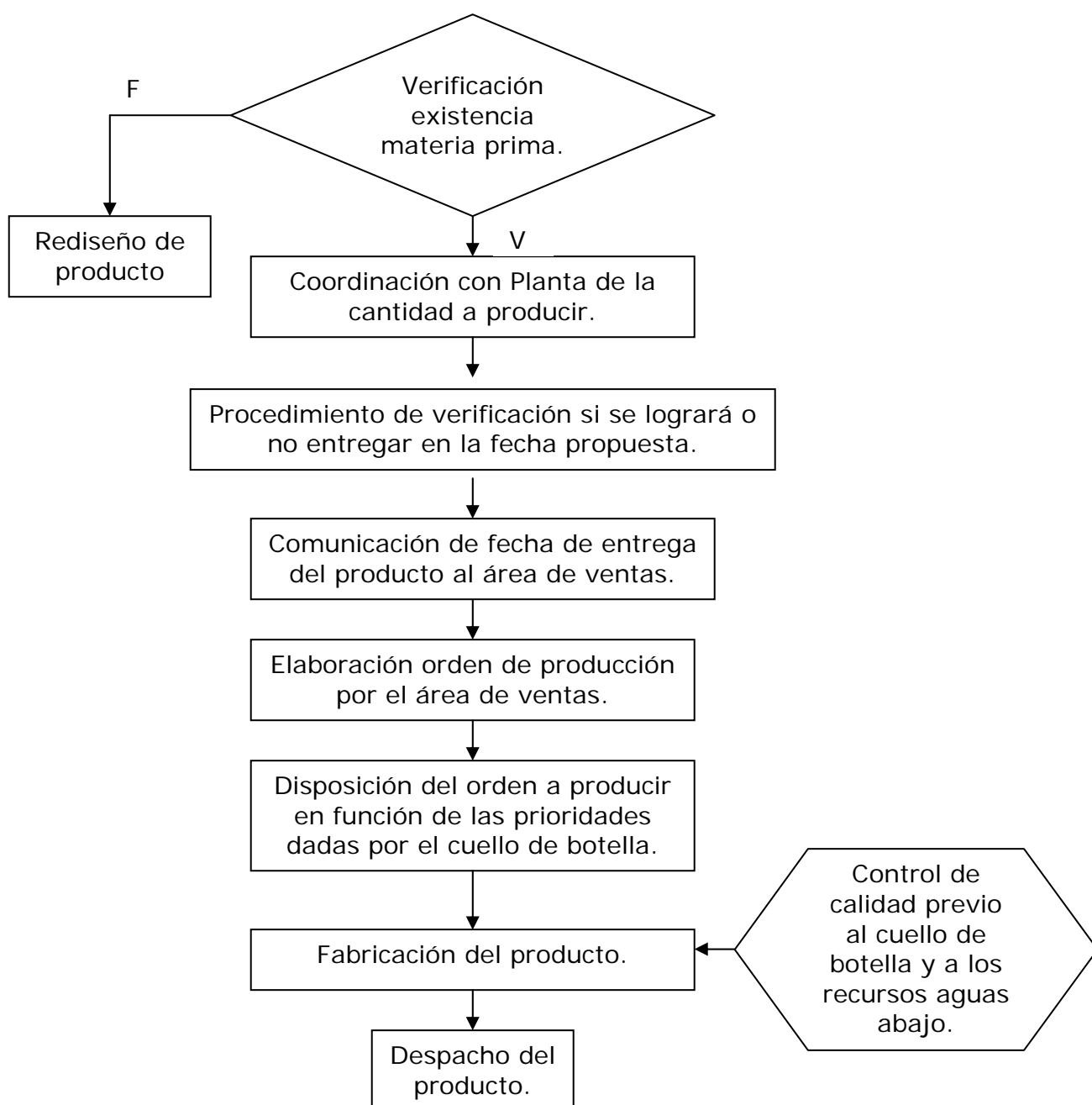
La filosofía TOC, como ya se lo ha revisado en la base teórica ampliamente descrita, basa sus actividades en la definición de las restricciones, la explotación de las mismas, subordinar el restos de actividades a la restricción, elevar la restricción y mejorar todo este proceso de manera iterativa. Además se debe tener claro la administración del amortiguador, muy relacionado con la ubicación de dichas restricciones en la línea de producción.

El análisis numérico que consta en el Anexo 5 es el que concreta todos estos preceptos que mantiene TOC acerca de su gestión. En esta se puede apreciar las fechas de entrega que se planificarían en función de los tiempos de proceso y de un Proceso de Coordinación de los pedidos, planteado a continuación.

### Proceso de Coordinación de los pedidos.-

La necesidad de manejar un proceso que coordine los pedidos para el segundo tipo de productos, se da en función de que, por su naturaleza misma, es imposible pronosticar las cantidades y características que hay que producir de cada tipo anticipadamente.

Es por esto que se plantea el mismo proceso revisado en el Capítulo I, con ciertas modificaciones recomendadas:



### **Funcionamiento del modelo a partir de una hoja electrónica.-**

En el archivo de Excel adjunto a este documento se pueden apreciar varias hojas que componen todo un libro de cálculo para la programación de la producción.

El proceso para un caso práctico de programación de la producción empieza por ingresar los datos de cantidades de pedidos junto con la fecha de entrega, para todos los productos tipo PP; esto se la hace en cada una de las hojas tituladas según la descripción de cada producto (Anexo 5). Para el ingreso de los niveles de stock, en el caso de los productos tipo PS se debería llenar estos valores (recomendable y en existencia) en la hoja que dice INGRESO.

Los valores de órdenes (cantidades de pedido) en los productos de producción bajo pedido, son iguales en el ejemplo desarrollado ya que al definir demandas medias en el tiempo considerado, se resolvió llenar un área de diez espacios (es decir 10 posibles pedidos que se podrían ingresar) con cantidades igual a un décimo del valor calculado como promedio.

Lo que primero controla el programa es que en función de las capacidades de cada una de las máquinas se define si la capacidad de toda la Planta con el mix<sup>52</sup> de todos los productos a fabricar, es suficiente para poder evacuar en los tiempos requeridos. Si no ocurre esto se deberá empezar a reprogramar todos los productos que estén relacionados con las máquinas que estén sobrecargadas en su capacidad efectiva. Para esto cada producto en su hoja de ingreso tiene un recuadro en el que se desplegaría el mensaje disponiendo este

---

<sup>52</sup> Mezcla o combinación de productos que en un momento determinado se encuentran en pleno proceso de producción.

particular (por ejemplo en el Anexo 5 en el producto PP07). En este punto se cumple entonces lo dispuesto por TOC, identificar las restricciones y subordinar el resto de recursos a la capacidad de estas (en el caso de que se presenten varias en líneas de productos que no tienen máquinas comunes). Para poder realizar esta verificación, en la hoja de INGRESO hay que colocar el valor límite de la capacidad, en porcentaje 100% (Anexo 6).

Otro tipo de datos también requiere ingreso, estos son: la capacidad de cada máquina, el tiempo de seteo en cada máquina para un determinado tipo de producto, y el número de operadores. Se ha separado el ingreso de estos valores en la hoja que lleva por nombre CAP. Y OPER. (Anexo 7), en vista de que la naturaleza de estos valores implica que en cada revisión se debería tener una estadística que permita la determinación más precisa posible. El período de revisión para estos queda a criterio de la compañía, pero se pueden manejar períodos anuales en los que se podría establecer diferencias entre los estándares históricos. Al momento están ingresados valores que corresponden a promedios de todo un año (sep-03 a ago-04).

Posteriormente para una segunda etapa se trata de explotar la restricción, lo cual significaría que se la debe potenciar al máximo sin tener que realizar mayor inversión, es decir con recursos existentes pero reordenados, como por ejemplo, horas extras, aumento de personal (en el caso de que aporte) disminuir las cantidades a producir, etc. Una opción también sería retrasar un poco la producción de los productos para stock, ya que al fin y al cabo estos, no tienen una fecha de entrega para cumplir (su existencia y cantidad obedecen a niveles de servicio mediante entregas inmediatas), por lo tanto un

*ligero* atraso en el complemento del inventario sería aceptado frente a conseguir una mejora en tiempos de entrega pactados. Solo en el caso de que el aumento en capacidad resulte muy complicado o económicamente no favorable, se deberá optar por cambiar la fecha de entrega de tal forma que se pueda producir lo que alcance la capacidad.

En el ejemplo práctico que se viene desarrollando mediante los anexos, se puede ver que bajando la cantidad a producir de productos para stock, se eliminan los cuellos de botella en el proceso.

En la hoja INGRESO entonces se puede colocar un valor límite del 90%, valor que representa el piso inferior para los recursos CCR (este valor depende de la Planta que se esté manejando y el criterio de qué nivel corresponde a los recursos que se desee proteger con el amortiguador). Con esto se está generando las condiciones para amortiguar a todos los recursos que se encuentran cercanos a su capacidad efectiva (Anexo 6).

Luego el libro de cálculo procede a la determinación de los amortiguadores en las primeras máquinas por las que tienen que pasar los productos relacionados con el CCR. Es decir, cuando se define a un CCR en la hoja con el mismo nombre, con un límite inferior del 90% (segunda etapa de cálculo), se está protegiendo a todo el flujo de producción que pase por este recurso, y se está planificando la liberación a partir de la primera máquina (en otras palabras se está amarrando la cuerda – rope desde la restricción hasta el inicio de la producción) que tiene que pasar el producto correspondiente. Este tiempo de liberación tiene como base de cálculo los valores de amortiguador que se

definen como una fracción del tiempo de proceso que existe entre el inicio de la fabricación y el momento en que va a empezar a trabajar el CCR.

A este punto es claro el amortiguador en todo el proceso, pero además se deberá tomar en cuenta el orden de producción (tambor – drum) el cual está dado por el ingreso de los pedidos en los formatos respectivos (Anexos 5 y 6).

Se ha definido al amortiguador en las primeras máquinas, lo cual es correspondiente con el concepto de la cuerda, pero respecto al resto de actividades dadas por los otros recursos, se puede decir que deberán ser efectuadas de manera secuencial, ya no habrán las presiones de tiempo como en el CCR, pero el objetivo es cumplir con las fechas de tiempo acordadas desde el inicio.

## **CAPITULO IV: Conclusiones y Recomendaciones.**

En este capítulo se establecen conclusiones y recomendaciones respecto a todo el trabajo realizado, incluyendo factores como: aplicabilidad de la teoría, resultados obtenidos, etc. Y las recomendaciones que aporten en un futuro cercano al mejoramiento de este modelo y a la gestión de la producción. Esta última parte ayudará a que el presente estudio no quede en letra muerta y se puedan establecer lineamientos al menos básicos para un mejoramiento de la situación actual en producción.

### **Conclusiones.-**

- La demostración de la hipótesis referente al problema central de este estudio, queda resuelta en función de que se conoce, que en la Planta industrial objeto de estudio, se utiliza un sistema PEPS en el cual no existe mayor reflexión en cuanto a capacidades efectivas, cuellos de botella, etc. Ni siquiera dentro de los procedimientos según la normativa ISO 9001-2000, la organización ha desarrollado una manera de planificar su producción, por lo tanto la hipótesis de desarrollar un modelo de planificación de la producción esta plenamente justificada.
- Luego de definir una restricción o CCR, se debería tener en cuenta que hace falta, como consta en el proceso de coordinación de pedidos, establecer una política de control de calidad antes del mencionado recurso y aguas debajo de este, pues como la afirma la teoría: pérdida de tiempo en una restricción es irrecuperable y afecta directamente al tróput.

- Los resultados obtenidos en las hojas de cálculo refleja una realidad muy común en la Planta, esto se dice basándose en la experiencia que se tiene en el tiempo transcurrido en la organización; lo que confirma que son apropiados, y al presentarse recurrencia en la existencia de este cuello de botella, se debería pensar en una inversión de mediano a largo plazo (debido al costo que tiene) para poder incrementar la capacidad de este recurso M10.
- La teoría aplicada en este estudio (TOC), se ha podido observar que es muy flexible y se podría adaptar a diversas posibilidades de producción, dando solución al problema de la planificación.
- El presente estudio podría enfrentar ciertas barreras en el momento de su posible implantación, tales como: la barrera cultural al tratar de romper el Pensamiento Cartesiano y remplazarlo por el Sistémico, una barrera tecnológica que si el modelo quedaría tal y como está no permitiría tener información en tiempo real, la evaluación contable necesaria en cualquier administración de una organización no se la podría llevar coherentemente ya que TOC considera ciertos preceptos que en el sistema tradicional no son los más correctos (por ejemplo los inventarios no representan activos). Es decir son algunas las barreras que se pueden presentar en la implantación de este modelo, pero que como una primera propuesta puede aportar a nuevas formas de considerar la gestión en el área de Operaciones del a compañía.



### **Recomendaciones.-**

- A nivel tecnológico, la solución planteada puede resultar no muy amigable y con resultados en una forma difícil de interpretar, pero si bien uno de los objetivos básicos era el desarrollo de un modelo de planificación, este libro de cálculo podría representar una arquitectura de flujo de datos mediante la cual se puede hacer planificación de la producción mediante TOC; por lo tanto sería aconsejable que a futuro se pueda establecer un módulo (en el sistema utilizado por la organización) que cumpla los lineamientos básicos de la herramienta generada en este estudio.
- Una forma adicional de mejoramiento es la cuantificación de las perturbaciones, es decir determinar de manera prorrateada cuál es la fuente de demora para que los productos en proceso no lleguen adecuadamente a tiempo a los recursos CCR. Entonces se puede manejar estadística acerca de cuál es la perturbación que más influye (frecuencia y tiempo de demora) y sobre esta tomar acciones de mejoramiento focalizado.

### **Bibliografía.-**

- Goldratt, Eliyahu, *El síndrome del pajar*. México, Ediciones Castillo, 2002.
- Goldratt, Eliyahu, y Robert Fox, *La carrera*, México, Ediciones Castillo, 2002.
- Goldratt, Eliyahu, y Jeff Cox, *La meta*, México, Ediciones Castillo, 2002.
- Krajewski, Lee, y Larry Ritzman, *Administración de Operaciones*, México, Pearson Education, 2000.
- Maynard, H. B., *Industrial Engineering Handbook*, New York, Mc Graw Hill, 1971.

# **Anexos**

